

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович
Должность: Ректор
Дата подписания: 22.09.2025 10:26:06
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926

Министерство науки и высшего образования РФ

**ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Кафедра радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники

Х.М. Гаджиев Т.Д. Нежведилов

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**для бакалавров направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника»,
профиль "Радиотехнические средства передачи,
приема и обработки сигналов"**

Махачкала 2024

УДК 621.371

Х.М. Гаджиев, Т.Д. Нежведилов

Основы автоматизированного проектирования: Учебное пособие для бакалавров направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника», профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов» / - Махачкала: ДГТУ, - 95 с.

Цель пособия - ознакомление учащихся с основными принципами функционирования и методологии использования технических, математических, информационных, программных и организационных средств автоматизированного проектирования, а также с особенностями формулировки и формализации проектных задач для средств автоматизированного проектирования.

Пособие предназначено для бакалавров направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника», профиль "Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов".

Рецензенты: д.т.н., профессор
кафедры БиМАС
ФГБОУ ВО «ДГТУ»

Магомедов Д.А.

д.т.н., зав. лабораторией
ИТвЭ ФГБУН «ИПГ»
ДНЦ РАН

Кобзаренко Д.Н.

Печатается согласно постановлению Ученого совета Дагестанского государственного технического университета от «__» _____ 2024 г.

1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАК СРЕДСТВО СОКРАЩЕНИЯ ЕГО ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Технический прогресс можно рассматривать как форму воспроизводства человеком технических устройств, являющихся для него, в рамках современной цивилизации, основным средством улучшения качества жизни и удовлетворения его тяги к познанию.

Ускорение – одна из главных особенностей технического прогресса, выражающаяся в постоянно нарастающем ускорении сменяемости видов, типов и классов технических устройств. В последние десятилетия наиболее ярко это свойство технического прогресса проявляется в развитии средств связи и вычислительной техники. Логика этого явления и вытекающие из неё требования к темпам создания машин иллюстрируются с помощью понятия «жизненный цикл изделия».

Основные понятия

Проект – сведения, достаточные для изготовления изделия (или реализации процесса) в заданных условиях и представленные в виде комплекта проектной документации.

Проектирование – процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания ещё не существующего объекта в окончательное описание (проект) на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчётного и конструкторского характера.

Техническое задание (ТЗ) – задание на проектирование, исходное описание проектируемого объекта, содержащее требования к характеристикам и параметрам объекта, условия применения и эксплуатации будущего изделия.

Проектное решение – как правило, промежуточный результат проектирования.

1.1. Стадии и этапы проектирования

Жизненный цикл изделия – это период времени (рис. 1.1), проходящий с начала его разработки до момента вывода данного типа изделий из эксплуатации. Жизненный цикл изделия может быть поделён на отдельные периоды времени.

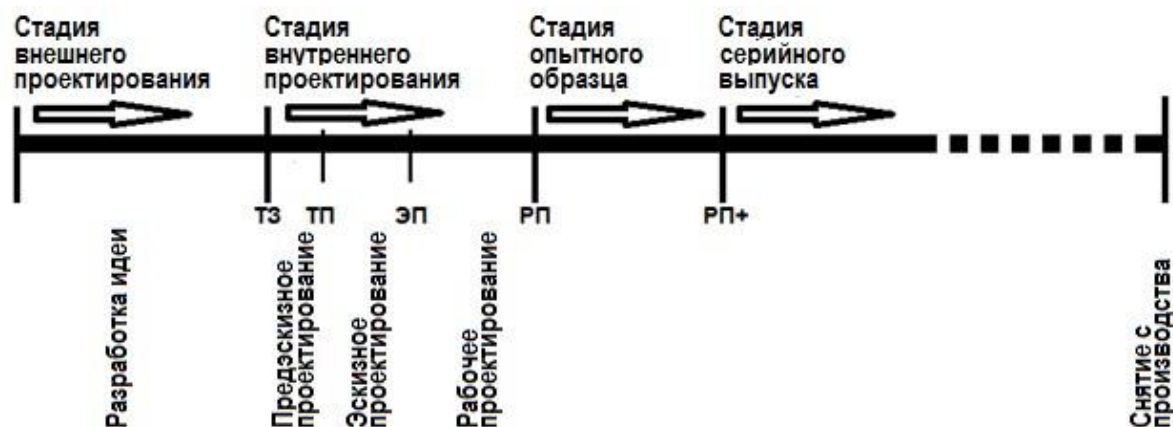


Рис. 1.1. Графическое представление жизненного цикла изделия

Стадия внешнего проектирования – период, в течение которого происходит изучение перспектив появления спроса на изделие с предполагаемым назначением и характеристиками, формирование требований к изделию и разработка технического задания на его проектирование. На этой стадии проектирования выбираются принцип действия, техническое решение и оптимальные значения параметров.

Содержание стадии: выяснение назначения изделия, уточнение круга решаемых с его помощью задач, исследование финансовой целесообразности его разработки, исследование свойств внешней среды, в которой изделию предстоит функционировать, изучение вероятных характеристик процессов взаимодействия среды с изделием, формирование начальных представлений об облике и возможностях изделия.

Выход стадии – техническое задание (ТЗ), т.е., экономическое обоснование целесообразности разработки изделия и техническое задание на его проектирование, т.е. исходное описание, содержащее сведения о назначении изделия, требования к его характеристикам, сведения о результатах проведенных исследований, условия испытаний, правила ввода в действие и

эксплуатации (в том числе допустимые диапазоны изменения внешних переменных).

Стадия внутреннего проектирования – период, в течение которого разрабатывается описание проектируемого изделия, необходимое и достаточное для его изготовления (такое описание называют «рабочий проект»), и уточняется экономическое обоснование целесообразности его выпуска.

Содержание стадии: уточнение внешнего облика изделия, определение его внутренней структуры, выбор технических решений по элементам конструкции изделия, по значениям технических параметров и режимам эксплуатации, а также уточнение объёма затрат по всем статьям расходов и экономического эффекта, ожидаемого от эксплуатации изделия.

Выход стадии – рабочий проект изделия, т.е. комплект проектно-конструкторской и технологической документации, необходимой и достаточной для серийного изготовления изделия, удовлетворяющего требованиям технического задания (такой комплект документации иногда также называют «окончательное описание изделия»), и технико-экономическое обоснование целесообразности его производства.

Большой объём работ на этой стадии обуславливает её разделение на три этапа:

- этап предэскизного (или предварительного) проектирования предусматривает формирование технической концепции и основных параметров, фиксирующих облик изделия, устранение неувязок в требованиях технического задания, согласование требований технического задания с возможностями внутреннего проектирования.

Выход этапа – техническое предложение на проектирование изделия (ТП);

- этап эскизного проектирования предусматривает уточнение параметров и характеристик изделия, необходимое вследствие проектно-конструкторской проработки его основных агрегатов и узлов, формирования их облика, сопровождаемого комплексом экспериментальных исследований и расчётов.

Выход этапа – эскизный проект изделия (ЭП);

- этап рабочего проектирования предусматривает проработку конструкций всех агрегатов, узлов и деталей изделия, а также технологии их изготовления и сборки.

Выход этапа – рабочий проект изделия (РП).

Технико-экономические расчёты ведутся параллельно рабочему проектированию на каждом из этапов и их результаты постоянно анализируются.

Стадия изготовления и испытаний опытного образца (или партии) – период, в течение которого изготавливается и испытывается один или несколько образцов изделия.

Содержание стадии: изготовление опытного образца изделия с одновременной отладкой и корректировкой конструкторской и технологической частей рабочего проекта, испытания опытного образца (или партии изделий) в лабораторных и/или полевых условиях для выявления конструктивных недостатков и технологических недоработок, а также для уточнения значений параметров изделия и их соответствия техническому заданию.

Выход стадии – рабочий проект экономически эффективного изделия (РП+), скорректированный с учётом выявленных конструктивных и технологических недостатков, полностью адаптированный к условиям конкретного производства.

Стадия серийного выпуска и эксплуатации изделия – период, в течение которого ведётся серийное производство изделия с параллельной его эксплуатацией.

Содержание стадии: серийный выпуск изделий и передача их в эксплуатацию, сопровождающиеся выявлением дефектов конструкции изделия, недостатков в обеспечении его надёжности и долговечности, технологических просчётов.

Выход стадии – документация на модернизацию изделия и технологии его изготовления.

1.2. Сокращение продолжительности проектирования

Интенсификация производства требует все ускоряющейся смены существующих технических систем новейшими, сроки морального старения их постоянно сокращаются, но продолжительность стадии эксплуатации сокращаться не может, так как сохраняется необходимость получения от их эксплуатации прибыли, покрывающей прошлые расходы и обеспечивающей создание нового поколения систем и повышение жизненного уровня их изготовителей. Таким образом, возникает объективная необходимость сокращения продолжительности стадий, связанных с проектированием и наладкой процесса изготовления изделий.

Добиться этого позволяют следующие технические средства.

Автоматизированные Поисковые Системы (АИПС), предназначенные для хранения архива научно-технических и инженерных решений и автоматического поиска решений по поисковым признакам на стадиях внешнего и внутреннего проектирования изделия.

Автоматизированные Системы Научных Исследований (АСНИ), предназначенные для управления экспериментальным оборудованием, регистрации, хранения и обработки любых массивов экспериментальных данных, а также для визуализации и документирования обработанных результатов экспериментов на стадиях внешнего и внутреннего проектирования и опытного производства изделия.

Системы Автоматизированного Проектирования (САПР), предназначенные для выполнения многовариантных расчётов, подготовки и изготовления чертёжной документации, а также внесения изменений и дополнений в уже готовую документацию на стадиях внешнего и внутреннего проектирования изделия.

Автоматизированные Системы Технологической Подготовки Производства (АСТПП), предназначенные для хранения архива технологических решений, их поиска и составления из них технологических маршрутов, подбора и комплектации технологического оборудования, расчёта режимов обработки, выбора инструмента и оснастки на стадиях опытного и серийного производства изделия.

Гибкие Автоматизированные Производства (ГАП), предназначенные для изготовления деталей, а также сборки узлов, агрегатов и изделий в целом и обеспечивающие сокращение времени на переналадку оборудования и подготовку производства к выпуску новых изделий на стадиях опытного и серийного производства изделия.

Все перечисленные системы помогают человеку решать на разных стадиях и этапах жизненного цикла изделия задачи, связанные с его проектированием, и поэтому могут рассматриваться как средства автоматизированного проектирования.

1.3. Задачи автоматизированного проектирования

Автоматизация конкретного процесса проектирования предполагает решение следующих задач:

- разработка концепции приспособления проектных задач к возможностям имеющейся системы автоматизированного проектирования с помощью специальных приёмов разделения процесса проектирования на иерархические уровни и аспекты и с учётом сохранения за человеком проектных процедур, не поддающихся формализации или требующих неприемлемых затрат времени или средств;
- разработка математического обеспечения, объединяющего математические модели, методы и алгоритмы, для выполнения необходимых проектных процедур;
- разработка и комплектование технических средств и специализированной аппаратуры, отвечающих требованиям автоматизированного проектирования;
- разработка операционных систем, пакетов прикладных программ, программно-информационного обеспечения банков данных.

2. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

На стадиях внешнего и внутреннего проектирования создаётся окончательное описание или рабочий проект изделия. Результатами отдельных стадий и этапов этого периода являются промежуточные формы описания

изделия, более подробные, чем исходное описание, но ещё недостаточные для изготовления и эксплуатации изделия.

К числу таких промежуточных форм описания изделия могут быть отнесены математические модели различного уровня, технические предложения, эскизные и технические проекты.

Возможны и другие промежуточные формы описаний изделия в зависимости от его сложности и потребностей проектировщиков.

Изменение описания от исходного состояния к окончательному через промежуточные формы отражает развитие непрерывно усложняющегося представления проектировщика о проектируемом изделии. Критерием законченности процесса проектирования является достаточность описания для изготовления изделия.

2.1. Особенности проектирования сложных объектов

При проектировании объектов машиностроения полное описание объекта в рамках одной программы, как правило, невозможно из-за большой многомерности задачи.

Описание проектируемого объекта должно соответствовать возможностям его восприятия и оперирования человеком, чего для технических объектов добиться, как правило, не удаётся. Поэтому прибегают к расчленению представлений о проектируемых объектах на иерархические уровни и аспекты, что позволяет распределять работы по проектированию сложных объектов между подразделениями проектной организации, чем повышается эффективность и производительность коллектива проектировщиков в целом.

Благодаря этому окончательное описание (рабочий проект) даёт достаточное представление обо всех существенных свойствах изделия, его систем, агрегатов, узлов и деталей, а также о методах их изготовления и сборки и необходимом для этого оборудовании.

Блочно-иерархический подход. Разделение описаний по степени детализации отображаемых свойств и характеристик объекта лежит в основе *блочно-иерархического подхода к проектированию* и приводит к появлению *иерархических уровней (уровней абстрагирования)* в представлениях об объекте.

На каждом иерархическом уровне используются свои понятия системы и элементов. На верхнем уровне подлежащий проектированию сложный объект рассматривается как система взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. Каждый из этих элементов представляет собой также довольно сложный объект, который, в свою очередь, рассматривается как система на следующем, нижележащем уровне. Как правило, выделение элементов происходит по функциональному признаку. Подобное разделение продолжается вплоть до получения на некотором уровне элементов, описания которых дальнейшему делению не подлежат; эти элементы по отношению к объекту называют *базовыми элементами*.

Таким образом, *принцип иерархичности* означает структурирование представлений об объектах проектирования по степени детальности описания, а *принцип декомпозиции (блочности)* – разбиение представлений каждого уровня на ряд составных частей (блоков) с возможностями отдельного (поблочного) проектирования объектов на каждом из уровней.

Конструкция машины как объекта проектирования представляет собой сложную систему. Вследствие этого, математическое описание конструктивных элементов должно базироваться на блочно-иерархическом подходе к процессу конструирования.

Для таких изделий, как подъёмно-транспортные, строительные, дорожные, коммунальные машины и оборудование характерны 4 иерархических уровня, а именно: *машина, агрегат, узел, деталь*. На низшем уровне помещают детали машин, на следующем – узлы (сборочные единицы, состоящие из деталей), ещё выше – агрегаты (сборочные единицы, состоящие из узлов), на самом высоком, содержащем наиболее общую информацию – машина, как совокупность агрегатов. При необходимости детализации информации какого из уровней их количество может быть произвольно увеличено

Иерархический подход предполагает размещение информации, содержащейся в описании в символьном и графическом виде, на нескольких уровнях, каждый из которых отличается степенью подробности описания свойств изделия. Так, первый уровень объединяет информацию о свойствах изделия в целом (например, для бульдозера это сведения о массе, габаритах, компоновке основных агрегатов, типах ходового и рабочего оборудования и

т.д.). Следующий (более низкий) уровень объединяет информацию о свойствах агрегатов, составляющих изделие (например, для бульдозера это могут быть сведения о массах, присоединительных размерах, координатах центров масс, кинематических и прочностных показателях двигателя, трансмиссии, рабочего и ходового оборудования и т.д.). Следующий за ним (ещё более низкий) уровень может содержать информацию о размерах, взаимном расположении и режимах работы узлов, входящих в какой-то конкретный агрегат (например, для ходового оборудования бульдозера это могут быть размеры гусеничных траков, типы межтраковых шарниров, количество и размеры опорных катков и поддерживающих роликов и т.д.).

Количество иерархических уровней может быть любым, так как зависит от сложности проектируемого изделия и типа задач, решаемых проектировщиком с помощью структурирования информации.

Декомпозиционный (блочный) подход. При переходе с более высокого иерархического уровня на более низкий степень подробности описания объекта возрастает. Для сохранения приемлемой сложности описаний (приемлемой размерности решаемых задач) при таком переходе приходится производить *декомпозицию* описаний на блоки с последующим поблочным рассмотрением и преобразованием описаний. В результате появляется возможность свести решение малого числа чрезмерно сложных задач к решению большого числа задач, но приемлемой сложности.

Таким образом, блочный подход состоит в расчленении информации одного уровня на блоки, группирующие её по общему для данного блока признаку (например, по принадлежности к системе с определёнными функциями: трансмиссии, ходовому оборудованию, системе управления; по характеру отображаемых свойств: скоростным, энергетическим, геометрическим; по способу передачи энергии: электричеством, воздухом, жидкостью и т.д.).

Структурирование и разбиение на блоки – приёмы, без применения которых проектирование технического объекта невозможно, поэтому все виды описаний сложного объекта, получающиеся в ходе проектирования, **отличаются иерархичностью и декомпозиционностью.**

2.2. Аспекты описания и итерационность проектирования

Условие достаточности информации, содержащейся в рабочем проекте, для изготовления, наладки и эксплуатации изделия заставляет проектировщиков делить описание на тематические разделы, отражающие устройство изделия, его функционирование, способы изготовления, упрочнения, сборки и многое другое. Это достигается разделением описания на его аспекты.

Аспект описания – часть описания изделия, связанная с отражением какой-то группы его свойств, таких, как, например, способ функционирования, геометрические и топологические параметры, технология изготовления, степень безопасности для окружающей среды, эргономичность, экономическая эффективность. Количество аспектов описания при проектировании в разные периоды времени может изменяться в зависимости от технических, финансовых и социальных приоритетов, действующих в это время в обществе.

В настоящее время при проектировании технических объектов наиболее востребованы такие аспекты их описаний:

- экономический аспект, связанный с оценкой экономической целесообразности изготовления и эксплуатации проектируемого изделия;
- экологический аспект, связанный с оценкой приемлемости вреда, который может быть нанесён окружающей среде эксплуатацией проектируемого изделия;
- функциональный аспект, связанный с отображением основных принципов функционирования объекта, характера физических процессов, предполагаемых в проектируемом изделии; функциональный аспект реализуется в виде структурных, функциональных и принципиальных схем;
- конструкторский аспект, связанный с определением геометрических форм проектируемого изделия, его компонентов и их взаимного расположения в пространстве; конструкторский аспект реализуется в виде чертежей изделия и его компонентов;
- технологический аспект, связанный с описанием методов и средств изготовления спроектированного изделия и его компонентов; технологический аспект реализуется в виде комплекта технологической документации на изготовление изделия.

Каждый из перечисленных аспектов описания создаётся в ходе соответствующего вида проектирования. Экономический аспект описания появляется в результате технико-экономического проектирования, экологический аспект – в результате экологической экспертизы проекта, функциональный аспект – в результате функционального проектирования, конструкторский аспект – в результате конструкторского проектирования, технологический аспект – в результате технологического проектирования.

Каждый из аспектов описаний сложных систем имеет иерархическую структуру. Например, описания функционального аспекта делятся на *мета-, макро- и микроуровни*. В описаниях конструкций выделяют уровни комплектов оборудования, агрегатов, сборочных единиц, деталей; в описаниях технологических процессов – уровни принципиальных схем, маршрутной и операционной технологии.

Итерационность проектирования – многократное повторение одних и тех же проектных процедур с различающимися значениями параметров изделия.

Проектирование, как творческий процесс, неизбежно сопряжено с принятием решений в условиях недостатка информации о строении и возможном поведении проектируемого изделия, поэтому часть решений впоследствии обязательно окажется неверной или не самой лучшей. Необходимость исправления неверных и улучшения неоптимальных решений требует неоднократного повторения одних и тех же проектных процедур и порождает итерационность проектирования сложных изделий.

Итерационность как свойство проектирования есть результат принципиальной невозможности выбора оптимального проектного решения на одном из этапов проектирования из-за недостатка информации о структуре и функциях изделия. В сущности, итерационность проектирования технических объектов – аналог эволюционного развития живых существ.

Таким образом, **многоаспектность и итерационность** – свойства, органически присущие процессу проектирования любого искусственного объекта.

2.3. Классификация проектных процедур

Проектирование объединяет такие процедуры, как синтез структуры, выбор параметров элементов, анализ и принятие решения, которые поэтому считают проектными.

Проектная процедура – это часть этапа проектирования, обязательно завершающаяся получением проектного решения.

Одни и те же проектные процедуры, используемые независимо от назначения проектируемого изделия, а также стадии и этапа его проектирования, называются типовыми (рис. 2.1).

Задачи синтеза и анализа. Под *синтезом* понимаются проектные процедуры, направленные на получение новых описаний проектируемого объекта в соответствии с заданными показателями его функционирования. *Анализ* – это проектные процедуры, имеющие целью получение информации о свойствах проектируемого объекта по заданному его описанию.

Задачи синтеза связаны с созданием проектных документов и самого проекта, а задачи анализа связаны с оценкой проектных документов.

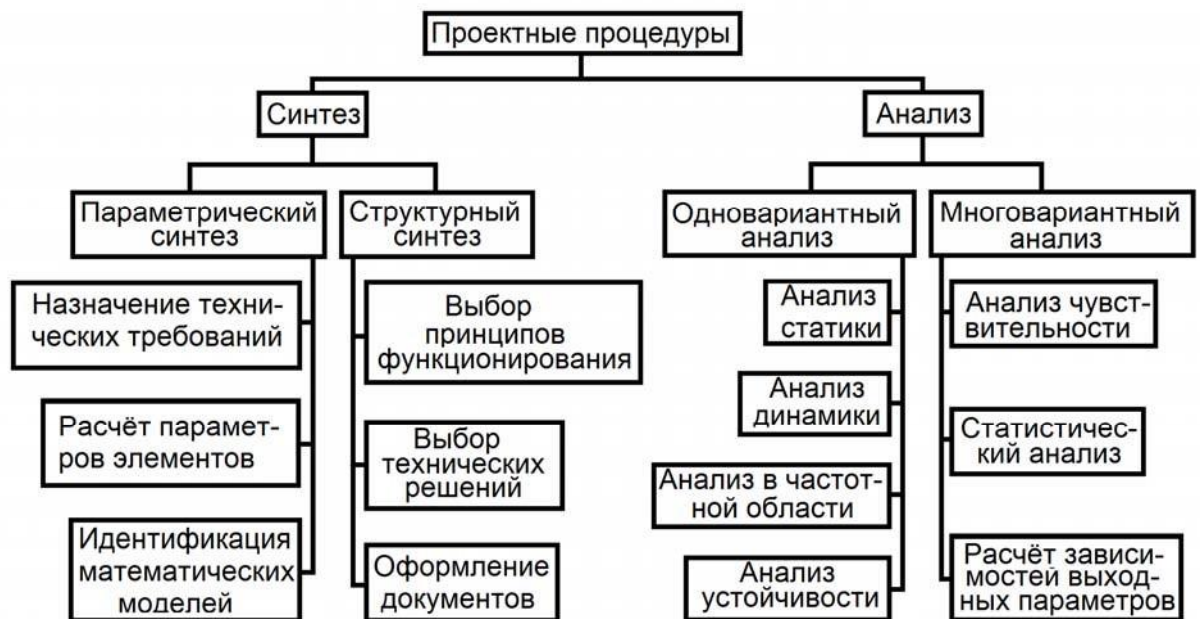


Рис. 2.1. Блок-схема классификации типовых проектных процедур

Процедуры синтеза делятся на процедуры структурного и параметрического синтеза.

Поиск рационального технического решения при выбранном физическом принципе действия осуществляется методами *структурного синтеза*.

Определение оптимальных значений параметров элементов технической системы известной структуры представляет собой задачу *параметрического синтеза*, или *параметрической оптимизации*.

Целью структурного синтеза является определение структуры объекта – перечня типов элементов, составляющих объект, и способа связи элементов между собой в составе объекта.

Параметрический синтез заключается в определении числовых значений параметров элементов при заданных структуре и условиях работоспособности, влияющих на выходные параметры объекта, т.е. при параметрическом синтезе нужно найти точку или область в пространстве внутренних параметров, в которых выполняются те или иные условия (обычно условия работоспособности).

Процедуры анализа делятся на процедуры одно- и многовариантного анализа.

При *одновариантном анализе* заданы значения внутренних и внешних параметров, требуется определить значения выходных параметров объекта. Удобно использовать геометрическую интерпретацию этой задачи, связанную с понятием пространства внутренних параметров; это « n -мерное пространство, в котором для каждого из n внутренних параметров x , – выделена координатная ось. При одновариантном анализе задаётся также некоторая точка в пространстве внутренних параметров и требуется в этой точке определить значения выходных параметров. Подобная задача обычно сводится к однократному решению уравнений, составляющих математическую модель, что и обуславливает название данного вида анализа.

Многовариантный анализ заключается в исследовании свойств объекта в некоторой области пространства внутренних параметров. Такой анализ требует многократного решения систем уравнений (многократного выполнения одновариантного анализа).

Содержание терминов, использованных в блок-схеме классификации типовых проектных процедур, раскрывается следующим образом.

Синтез – создание описания проектируемого изделия.

Параметрический синтез – определение номенклатуры параметров, характеризующих изделие и его элементы при заданной структуре и условиях работоспособности.

Структурный синтез – определение структуры объекта (т.е. установление номенклатуры элементов, образующих изделие, их количества и способов связи между ними).

Анализ – определение свойств изделия и исследование его работоспособности на основании имеющегося описания.

Одновариантный анализ – однократное нахождение значений параметров, характеризующих изделие, при заданных структуре, условиях эксплуатации и работоспособности.

Многовариантный анализ – многократное выполнение процедуры одновариантного анализа.

2.4. Типичная последовательность проектных процедур

При проектировании типовые проектные процедуры обычно выполняются в традиционной последовательности, называемой типичной последовательностью проектных процедур (рис. 2.2). Такая последовательность не является строго обязательной во всех случаях, но использование её в качестве отправной значительно облегчает разработку нового или модификацию уже существующего процесса проектирования.

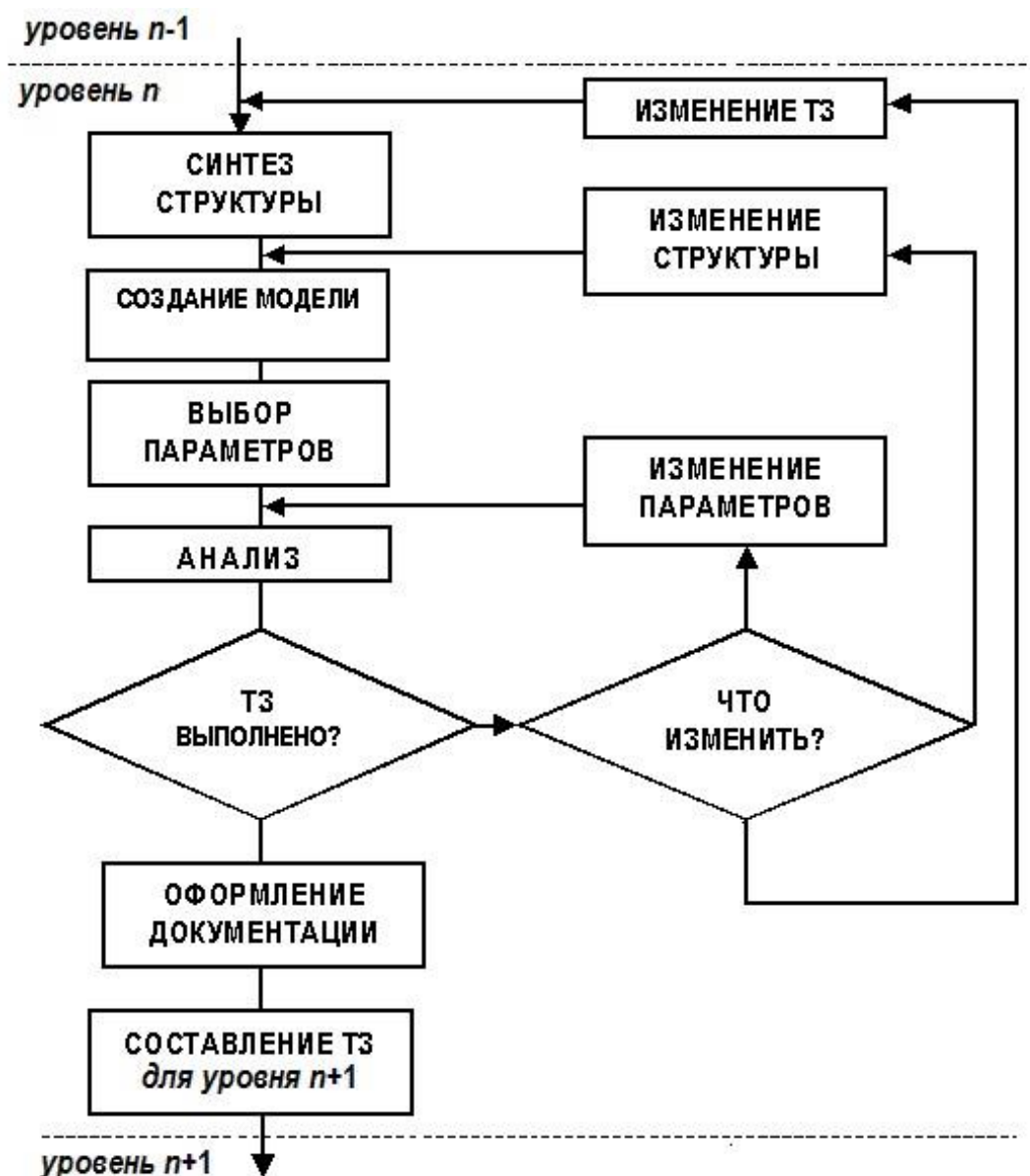


Рис. 2.2. Блок-схема типичной последовательности проектных процедур

Процедуры, включённые в блок-схему алгоритма на рис. 2.2, вместе образуют процедуру синтеза и предусматривают преобразование информации на одном из (в примере – уровень « n ») иерархических уровней описания изделия. В их последовательности процедура «Составление ТЗ» является заключающей и предполагает разработку технического задания для проектных процедур следующего, расположенного ниже иерархического уровня.

Например, технические задания на проектирование силового привода, рабочего органа, ходового оборудования автогрейдера могут появиться лишь как результат синтеза структуры автогрейдера в целом и анализа характерных для него рабочих процессов.

Синтез структуры – синтез исходного варианта структуры проектируемого изделия, являющийся, как правило, результатом выполнения поисковых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обогащённых имеющимся опытом проектирования аналогичных изделий.

Создание модели – создание либо математического описания (математической модели) функционирования изделия, либо его масштабной физической модели, отражающей существенные с точки зрения проектировщика свойства. Возможно использование и комбинированных физико-математических моделей.

Выбор параметров – задание диапазонов или фиксированных значений параметров среды и изделия, знание которых необходимо для выполнения расчётов по математической модели или для организации экспериментальных исследований.

Анализ – выполнение любой процедуры (математический расчёт, физический эксперимент, обработка информации и т.д.), позволяющей получить результаты, пригодные для количественной оценки.

ТЗ выполнено? – оценка соответствия результатов анализа техническому заданию. Если указанное условие выполняется, проектировщик может переходить к процедуре «**оформление документации**». В противном случае следующей будет выполняться процедура выбора пути изменения технического задания.

Что изменить? – выбор варианта дальнейших действий, который, по мнению проектировщика, поможет добиться соответствия результатов анализа требованиям технического задания. Наиболее простой путь – «**изменение параметров**» – позволяет ограничиться изменением значений исходных параметров и не требует изменения модели. Если диапазон варьирования параметров исчерпан, но желаемый результат не получен, приходится выбирать «**изменение структуры**» проектируемого изделия и, соответственно, пересматривать модель. И, наконец, если рассмотрение возможных вариантов структур не дало желаемых результатов, проектировщику приходится выбирать «**изменение ТЗ**», разработанного в результате проектирования на иерархическом уровне « $n - 1$ ». После этого все процедуры цикла повторяются снова.

Оформление документации – изложение всех принятых решений в символьном и графическом виде на бумажных и магнитных носителях. Этой операцией заканчивается изготовление окончательного для данного иерархического уровня варианта описания.

Составление ТЗ – разработка технического задания на проектирование свойств объекта, принадлежащих следующему, иерархическому уровню « $n + 1$ ». Эта процедура не относится к проектным процедурам рассматриваемого уровня « n », а входит в процедуру синтеза на следующем, более низком иерархическом уровне « $n + 1$ ».

Техническое задание для иерархического уровня « $n + 1$ » всегда является итогом проектирования на иерархическом уровне « n ».

3. КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Систему автоматизированного проектирования (САПР) можно определить, как организационно-техническую систему, используемую в ходе автоматизированного проектирования и состоящую из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимодействующего с подразделениями проектной организации. В свою очередь, комплекс средств автоматизации проектирования складывается из различных видов обеспечения автоматизированного проектирования.

3.1. Техническое обеспечение

Техническим обеспечением называется совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для ведения автоматизированного проектирования.

По назначению технические средства могут быть разделены на следующие группы:

а) средства программной обработки данных, с помощью которых реализуются преобразования информации и программное управление вычислениями (процессоры и оперативные запоминающие устройства, объединённые в системные блоки);

б) средства ввода данных, с помощью которых информация,

размещённая на носителях разного рода (в основном бумажных, магнитных и лазерных), заносится в средства программной обработки данных (сканеры, дисководы магнитные и лазерные, дигитайзеры для кодировки графической информации в векторном виде);

в) средства диалога, реализующие диалог человека со средствами программной обработки данных (монитор, клавиатура, мышь, джойстик);

г) средства архивации проектных решений на машинных носителях информации, с помощью которых данные записываются на внешние запоминающие устройства, хранятся там и считываются оттуда (магнитные и лазерные дисководы);

д) средства документирования данных, с помощью которых информация выводится на бумажные носители в виде, привычном для человека (принтеры – лазерные, струйные, плоттеры – струйные или лазерные, с рулонной подачей бумаги или перемещением пишущего устройства по планшету);

е) средства передачи данных, с помощью которых организуется связь между территориально удалёнными устройствами САПР (электрические и оптико-волоконные линии связи, аппаратные интерфейсы).

Комплекс технических средств (КТС) САПР – система технических устройств, обеспечивающих функционирование подсистем САПР.

Требование к КТС САПР:

- системные,
- функциональные,
- технические,
- организационно- эксплуатационные.

Системные:

- эффективность – КТС должен обеспечивать эффективное выполнение всей совокупности функций АП с целью получения достаточно качественных решений и проектной документации в приемлемые сроки;
- универсальность – обеспечение выполнения всего процесса проектирования без перестройки КТС;
- совместимость – средства, входящие в КТС САПР, должны быть технически, информационно, программно и эксплуатационно совместимы;

- гибкость и открытость – т.е. допускать перестройку КТС в достаточно широких пределах и позволять замену устаревших средств, модернизацию и расширение состава;
- надёжность – необходима для нормального функционирования в течении всего цикла проектирования;
- точность (достоверность) – зависит от методов округления, разрядности, сбоев в оборудовании, защищённости от внешних воздействий;
- защищённость – КТС САПР должен быть защищён от внешних воздействий (помех, сбоев в системе питания, некомпетентного и несанкционированного вмешательства);
- возможность одновременной работы достаточно широкого круга пользователей – КТС д.п. реализовать САПР, являющуюся системой коллективного пользования для достаточно большого количества специалистов (разработчиков САПР, проектировщиков и т.д.);
- приемлемая стоимость – стоимость КТС должна быть такая, чтобы созданная на его базе САПР обеспечила приемлемый экономический эффект.

Функциональные

КТС САПР должен обеспечивать:

- реализацию математических моделей;
- задач принятия решений и проектных процедур;
- архивов, библиотек проектных решений и типовых элементов;
- системы поиска данных;
- обеспечение наглядности информации;
- работы с графическим изображением – возможность работы, как в пакетном, так и в диалоговом режиме;
- документирование результатов проектирования;
- выдача результатов на технологическое оборудование.

Технические

Закладываются на этапе разработки ТС. Выражаются в виде количественных, качественных и номенклатурных значений характеристик и параметров:

- производительность;
- быстродействие;
- пропускная способность;

- разрядность;
- система кодирования информации;
- ёмкость ОЗУ;
- виды носителей данных.

Организационно-эксплуатационные

Предъявляются к КТС, вспомогательному оборудованию, рабочим местам, помещениям, персоналу с целью обеспечения нормальных условий эксплуатации и обслуживания САПР.

- эргономика и техническая эстетика;
- безопасность персонала при эксплуатации (соблюдение требований электробезопасности и пожарной безопасности);
- подготовка персонала (уровень его квалификации и навыков);
- централизованное техническое обслуживание, т.ч., климатические условия в помещениях САПР;
- звукоизоляция.

Отдельный модуль комплекса технических средств, используемый для автоматизации проектирования, называют автоматизированным рабочим местом (АРМ) или рабочей станцией. Номенклатура технических устройств, входящих в АРМ (рис. 3.1), определяет его минимальную, промежуточную или максимальную конфигурацию.

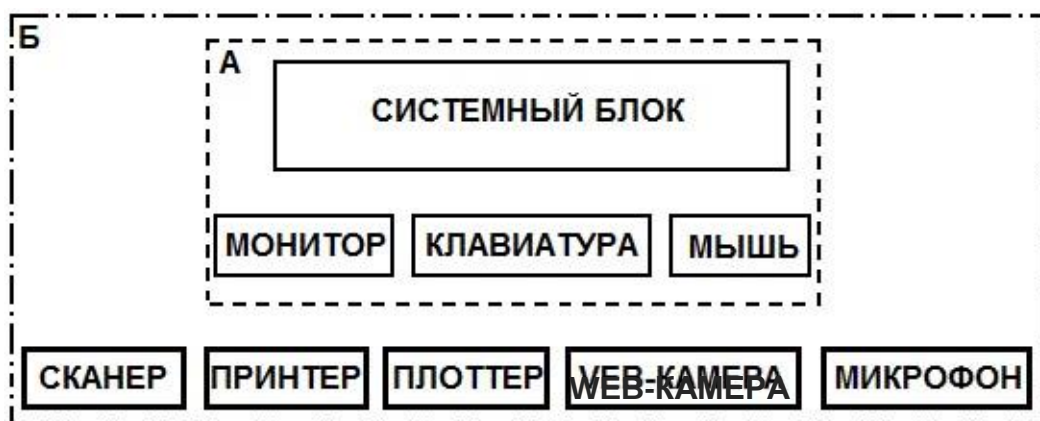


Рис. 3.1. Структура минимальной (А) и расширенной (Б) комплектации АРМ

Системный блок – шасси для размещения устройств:

- материнской платы (Chipset, ROM BIOS);
- процессора, сопроцессора;

- оперативной памяти (ОЗУ);
- контроллеров, шин;
- устройств хранения данных (дисководов, винчестеров, приводов CD-ROM);
- вспомогательных устройств.

Клавиатура – средство диалога для ввода символов в ОЗУ.

Монитор – средство диалога для отображения текстовой и графической информации.

Дигитайзер (мышь, джойстик, шлем или иное) – средство диалога для оптимизации работы с редакторами.

Сканер – средство считывания, оцифровки и ввода в ОЗУ графической информации в растровом виде.

Принтер – средство вывода символьной и графической информации.

Плоттер – средство вывода большеразмерной графической информации.

По назначению технические средства делят на группы:

а) средства программной обработки данных, с помощью которых реализуются преобразования информации и программное управление вычислениями (процессоры и оперативные запоминающие устройства, объединённые в системные блоки);

б) средства ввода данных, с помощью которых информация, размещённая на носителях разного рода (в основном бумажных, магнитных и лазерных), заносится в средства программной обработки данных (сканеры, дисководы магнитные и лазерные, дигитайзеры для кодировки графической информации в векторном виде);

в) средства диалога, реализующие диалог человека со средствами программной обработки данных (монитор, клавиатура, мышь, джойстик);

г) средства архивации проектных решений на машинных носителях информации, с помощью которых данные записываются на внешние запоминающие устройства, хранятся там и считываются оттуда (магнитные и лазерные дисководы);

д) средства документирования данных, с помощью которых информация выводится на бумажные носители в виде, привычном для человека (принтеры матричные, лазерные, струйные, плоттеры струйные или лазерные, с

рулонной подачей бумаги или перемещением пишущего устройства по планшету);

е) средства передачи данных, с помощью которых организуется связь между территориально удалёнными устройствами САПР (электрические и оптико-волоконные линии связи, аппаратные интерфейсы).

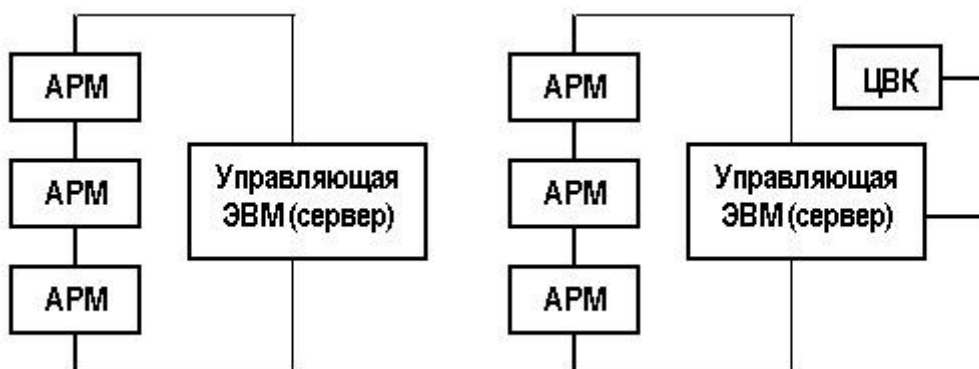
СЕТИ АРМ

САПР, реализованная на базе одного АРМ, является одноуровневой. При соединении нескольких АРМ в одноуровневые или многоуровневые сети (рис. 3.2) возможности автоматизированного проектирования многократно повышаются за счёт объединения вычислительных ресурсов и ресурсов памяти отдельных АРМ.

а) – радиальная структура



б) – кольцевая структура



в) – линейная структура

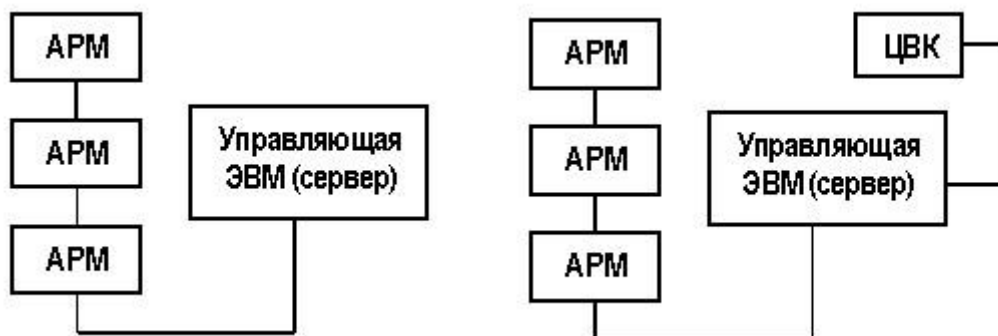


Рис. 3.2. Одно- и двухуровневые сети САПР

В одноуровневых системах используются технические и программные средства одного уровня.

В двухуровневых системах выделяются:

- центральный вычислительный комплекс (ЦВК), состоящий из одной или нескольких ЭВМ максимальной производительности, используемых для программной обработки данных в ходе сложных проектных процедур;
- интерактивно-графический комплекс (ИГК), состоящий из управляющей ЭВМ (сервера) и индивидуальных АРМ. Каждое из них используется для решения проектных задач стандартной сложности и при необходимости для обращения к вычислительным ресурсам, общим и локальным банкам данных системы и синтеза решений, получаемых на отдельных рабочих местах.

3.2. Математическое обеспечение

Математическое обеспечение — это совокупность математических моделей, методов и алгоритмов решения задач автоматизированного проектирования.

Математическая модель — группа математических объектов (чисел, переменных, матриц, множеств, точек, отрезков и т.п.) и отношений между ними, отражающая некоторые свойства моделируемого изделия или процесса.

Данное определение подразумевает, что математическая модель не должна быть полностью тождественна оригиналу, так как её назначение — сделать возможным исследование динамики явления и/или процесса с помощью наличных средств за счёт упрощения его представления.

Можно утверждать, что чем выше степень тождественности (или изоморфности) модели оригиналу, тем более сложной она будет для составления и исследования. Поэтому при проектировании прибегают, как правило, к транзитивным и гомоморфным математическим моделям, отражающим лишь в некоторой степени и лишь некоторые свойства оригинала. Тем не менее по мере детализации и расширения описания оригинала уровень математических моделей, используемых для его исследования, объективно должен повышаться. Таким образом, в ходе проектирования процессов и технических систем могут использоваться математические модели разных уровней сложности, иерархия которых порождается транзитивностью и гомоморфизмом модели и оригинала (т.е. их неравноправностью).

Набор моделируемых свойств и их отношений (так называемые предикаты) и их приоритетность определяются проектировщиком в соответствии с его представлениями об их значимости. Например, профессор В.И. Баловнев полагает необходимым при математическом моделировании подъёмно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования рассматривать в качестве значимых следующие компоненты:

- уравнения движения, учитывающие ожидаемые условия эксплуатации машины (например, в рабочем, транспортном и других режимах, отдельно для каждого);
- условия однозначности, т.е. соотношения, учитывающие влияние физических констант (например, ускорение свободного падения, свойства материалов), размеров изделия, начальных и граничных условий (например, скорость бульдозера до начала копания и после набора призмы волочения, масса погрузчика с пустым и полным ковшом и т.п.);
- уравнения, описывающие физические процессы взаимодействия объекта со средой (например, связь рабочих сопротивлений с прочностью материала, связь силы тяги со свойствами опорной поверхности);
- уравнения напряжённого состояния элементов изделия (если необходимо увязать прочностные размеры изделия с уровнем действующих нагрузок);
- уравнения, описывающие связи критерия (или критериев) экономической эффективности машины с её физическими свойствами.

Численным выражением свойств математической модели являются её параметры, значения которых не могут выходить за пределы, устанавливаемые условиями работоспособности. Для удобства анализа модели параметры разделяют на группы (рис. 3.3.):

- внешние параметры (факторы), характеризующие свойства среды, с которой взаимодействует моделируемый объект;
- внутренние параметры, характеризующие свойства частей и систем моделируемого объекта (например, передаточные числа трансмиссии, давление в гидросистеме и т.п.);
- выходные параметры (показатели), характеризующие свойства моделируемого объекта в целом (например, производительность, стоимость и т.п.);

Отнесение параметров к тем или иным группам в достаточной степени условно, так как в зависимости от целей исследования и точки зрения исследователя один и тот же параметр может считаться либо внешним, либо внутренним, либо выходным (например, сила тяги может характеризовать и среду, и движитель, и тягу машины в целом).

Условия работоспособности обычно задаются техническим заданием (например, ограничения размеров машин транспортными габаритами, нормативные запасы прочности грузоподъёмных механизмов).

Математические методы – все многообразие методов, используемых математикой. Набор методов, применяемых в математическом обеспечении конкретной САПР, зависит как от сложности моделируемых процессов, так и от математической компетентности разработчика.



Рис. 3.3. Группы параметров математической модели проектируемого объекта

Алгоритм автоматизированного проектирования – это формальная (т.е. исключающая толкования) последовательность выполнения проектных процедур, предусматривающая все ситуации, вероятность возникновения которых в ходе проектирования отлична от нуля.

Наиболее значительные трудности при разработке программ автоматизированного проектирования представляет как раз необходимость заранее предусмотреть все возможные варианты развития событий. Интересные перспективы в этом плане представляют так называемые самопрограммирующиеся вычислительные системы, способные модифицировать алгоритм своей работы при изменении расчётной ситуации.

В целом математическое обеспечение автоматизированного проектирования опирается на средства математического моделирования, доступные разработчику. Среди них можно выделить следующие методы.

Цифровое моделирование, т.е. способ исследования реальных явлений, процессов, устройств, систем и др., основанный на изучении их математических моделей (математических описаний) с помощью цифровых вычислительных машин (ЦВМ). Программа, выполняемая ЦВМ, также является своеобразной моделью исследуемого объекта. При цифровом моделировании используют специальные проблемно-ориентированные языки моделирования; одним из наиболее широко применяемых в моделировании языков является язык CSMP. Цифровое моделирование отличается наглядностью и характеризуется высокой степенью автоматизации процесса исследования реальных объектов.

Аналого-цифровое моделирование, т.е. способ исследования некоторых объектов в реальном масштабе времени, при котором используется как цифровое, так аналоговое представление величин. Таким образом исследуют управление движущимися объектами, оптимизируют и моделируют системы управления, разрабатывают комплексные тренажёры и др. Для аналого-цифрового моделирования необходимы гибридные вычислительные системы, представляющие собой комбинированный комплекс из нескольких электронных вычислительных машин, использующих аналоговое и цифровое представление величин и объединённых единой системой управления.

Статистическое моделирование, т.е. численный метод решения математических задач, при котором проведение каждого «эксперимента» распадается на две части: «розыгрыш» случайного исхода W и последующее вычисление функции $f(W)$. Последовательность действий может быть такой:

- искомые величины представляют вероятностными характеристиками какого-либо случайного явления;
- это явление моделируют;
- нужные характеристики приближённо определяют путём статистической обработки «наблюдений» модели.

Когда пространство всех исходов и вероятностная мера P слишком сложны, розыгрыш проводится последовательно в несколько этапов.

Статистическое моделирование широко применяется для решения на ЭВМ интегральных уравнений, например при исследовании больших систем. Они удобны своей универсальностью, как правило, не требуют большого объёма памяти. Недостаток – большие случайные погрешности, слишком медленно убывающие при увеличении количества экспериментов. Поэтому разработаны приёмы преобразования моделей, позволяющие понижать разброс наблюдаемых величин и объём модельного эксперимента.

Структурное моделирование – составление оптимальной структурной схемы оригинала с помощью средств вычислительной техники.

3.3. Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) – это совокупность программ, представленных в заданной форме, вместе с необходимой программной документацией предназначенная для использования при автоматизированном проектировании (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Структура программного обеспечения САПР

Общесистемное ПО – системное программное обеспечение ЭВМ (её операционная система), используемое в САПР. Операционная система – пакет программ, предназначенный для обеспечения определённого уровня эффективности вычислительной системы за счёт автоматизированного управления её работой и предоставления пользователю набора услуг. В состав операционной системы входят, как правило, управляющая программа, программа лингвистической обработки и обслуживающая программа. *Управляющая программа* осуществляет контроль над всеми обрабатываемыми программами. *Программа лингвистической обработки* облегчает введение задач в ЭВМ за счёт трансляции исходной прикладной программы в форму, приемлемую для ЭВМ. *Обслуживающая программа* обеспечивает стандартные процедуры обслуживания, такие, как компилирование системы, сортировка, объединение элементов набора данных, редактирование межпрограммных связей, операции с файлами.

Базовое ПО – программное обеспечение обслуживающих подсистем САПР и программное обеспечение проектирующих подсистем, предназначенное для применения во многих САПР.

Обслуживающая подсистема предназначена для поддержания работоспособности проектирующих подсистем. К обслуживающим подсистемам относятся: системы управления базами данных (СУБД), мониторные системы САПР, инструментальные подсистемы.

Мониторная система САПР – программная система, организующая и оптимизирующая управление процессом автоматизированного проектирования. Её функции:

- управление процессом реализации проектных процедур, операций и их последовательностей;
- организация взаимодействия подсистем САПР;
- интерпретация команд, изложенных на языке описания заданий;
- распределения ресурсов (т. е. времени и памяти) ЭВМ и внешних устройств между одновременно работающими периферийными устройствами и пользователями;
- защита ресурсов системы и баз данных от несанкционированного доступа;
- обеспечение диалога с пользователем.

Система управления базами данных – программная система, обеспечивающая использование и ведение баз данных, т.е. предоставление пользователям средств манипулирования данными в абстрактных терминах, не связанных со способом их хранения в ЭВМ.

Инструментальная подсистема – программная система, предназначенная для развития программного обеспечения САПР. В инструментальную подсистему могут входить средства автоматизации проектирования программного обеспечения, кроссовое программное обеспечение, генераторы трансляторов с входных языков заданного типа, средства генерации диалоговых программ.

Проектирующие подсистемы, которые можно отнести к базовому программному обеспечению – это подсистемы машинной графики, геометрического моделирования, оформления конструкторской документации.

Пакеты прикладных программ проектирующих подсистем – совокупность программ, реализующих алгоритмы отдельных проектных процедур. Прикладные программы обычно объединяются в пакеты прикладных программ (ППП) по признаку общности области приложения.

Библиотечная структура пакета прикладных программ используется, если для управления прикладными программами достаточно возможностей мониторной системы САПР и операционной системы ЭВМ. Возможности формирования рабочих программ из сочетаний библиотечных программ ограничены.

Сложная структура пакета прикладных программ (рис. 3.5) предусматривает наличие управляющей и обрабатывающей частей и развитого проблемно-ориентированного входного языка.



Рис. 3.5. Состав пакета прикладных программ сложной структуры

Управляющая часть – управляющая программа (или монитор) пакета, функции которой аналогичны функциям мониторной системы САПР, но применительно к пакету прикладных программ. Монитор пакета работает под управлением мониторной системы САПР.

Обрабатывающая часть – группа программ, предназначенная для автоматизации процесса создания рабочих программ, получающихся в результате обработки задания и исходных данных на проектирование, сформулированных пользователем на проблемноориентированном входном языке пакета. Обрабатывающая часть пакета состоит из функциональных модулей и языковых процессоров и работает под управлением монитора пакета.

Функциональный модуль – программа, реализующая типовой элемент математического обеспечения, который предназначен для многократного использования в разных рабочих программах. Примерами функциональных модулей могут служить программы, реализующие математические модели элементов проектируемого изделия, описания типовых графических изображений, численные методы и алгоритмы решения систем алгебраических уравнений, алгоритмы выполнения элементарных графических операций. Функциональные модули обычно объединяются в одну или несколько библиотек программ (например, библиотека программ, моделирующих воздействия внешней среды, реализующих численные методы интегрирования).

Языковой процессор – программа, организующая выполнение оригинальных частей рабочих программ способом их интерпретации и/или трансляции. При любом из этих способов исходные данные и команды формулируются пользователем на так называемом входном языке.

Интерпретация – поочередный анализ и исполнение исходных данных и команд с помощью имеющихся функциональных модулей. Исполнение программы интерпретацией требует большего машинного времени, но меньшего объёма памяти.

Трансляция состоит в выполнении последовательности следующих действий:

- преобразование исходных данных и команд в приемлемую форму представления информации;
- создание рабочей программы объединением полученных в результате преобразования оригинальных модулей с библиотечными;
- выполнение рабочей программы.

Трансляция выполняется быстрее, но требует значительных ресурсов памяти.

Пакет прикладных программ, предназначенных для образования рабочих программ из библиотечных и оригинальных модулей, называется программной системой. Оригинальные модули создаются (или генерируются) с помощью языковых процессоров.

Рабочая программа – программа, используемая для решения конкретной проектной задачи. Для каждого вновь проектируемого объекта и для каждой новой последовательности проектных процедур монитор пакета создаёт

оригинальную рабочую программу, синтезируемую из функциональных и оригинальных модулей (первые реализуют типовые элементы математического обеспечения, вторые реализуют задание и исходные данные и создаются языковым процессором).

3.4. Информационное обеспечение

Информационное обеспечение – совокупность информации, необходимой для автоматизированного проектирования и хранящейся в устройствах ЭВМ, и информационных потоков, которыми обмениваются программы, участвующие в проектировании. К процедурам информационного обеспечения относятся запись, хранение и поиск информации, а также обмен ею.

Банк данных (БНД) САПР – совокупность средств, применяемых для накопления, хранения и использования информации, необходимой для автоматизированного проектирования или получаемой в его ходе.

Структура банка данных образуется базой данных (БД) и системой управления базой данных (СУБД).

База данных (БД) – совокупность взаимосвязанных данных, хранящихся совместно во внешней памяти ЭВМ и используемых, как правило, более чем одной программой или более чем одним пользователем.

Система управления базами данных (СУБД) – программная система, записывающая информацию в базу данных, производящая выборку из неё данных по запросам пользователей и обеспечивающая защиту данных от искажений и несанкционированного доступа.

Информационное взаимодействие между отдельными программами позволяет объединять их в маршруты проектирования.

Маршрут проектирования – последовательность проектных операций и процедур, представленных программными модулями, реализующая некоторый этап проектирования.

Программный модуль – это программа, которая может рассматриваться как единое целое в одном из следующих контекстов:

- хранение в наборе данных;
- трансляция с исходного языка;
- объединение с другими программными системами;
- загрузка в оперативную память ЭВМ.

Взаимодействие между программными модулями проявляется в связях между ними по управлению и информации.

Связи по управлению диктуют порядок выполнения программных модулей. Этот порядок можно представить в виде графа связей по управлению (рис. 3.6).

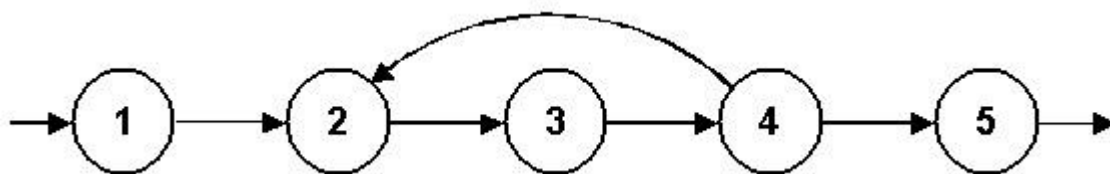


Рис. 3.6. Связи между программными модулями по управлению

На рис. 3.6 кружки с номерами 1, 2, 3, 4, 5 символизируют вершины графа, каждый из которых соответствует программному модулю, включённому в маршрут проектирования. Стрелки 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 4–2, соединяющие вершины графа между собой, это дуги графа, указывающие возможную последовательность выполнения программных модулей.

Рассмотрим в качестве примера маршрут автоматизированного проектирования грузоподъёмного механизма. В нём последовательно выполняются следующие программные модули: 1 – «выбор каната», 2 – «выбор барабана», 3 – «выбор двигателя», 4 – «выбор редуктора», 5 – «выбор тормоза». В рассматриваемом случае граф связей по управлению исключает какие-либо варианты в последовательности выполнения модулей, кроме ситуации, возникающей после выполнения модуля 4. После выбора редуктора грузоподъёмного механизма (модуль 4) возможен либо переход к выбору тормоза (модуль 5), либо изменение размеров барабана (модуль 2) с последующим повторным выполнением модулей 3 и 4. Циклическое повторение этого участка маршрута проектирования будет продолжаться до тех пор, пока параметры редуктора не обеспечат выполнение требований технического задания, выполняемого маршрутом проектирования.

Связи по информации диктуют способ обмена ею между программными модулями, включенными в маршрут проектирования. Существуют три основных способа организации связей по информации (рис. 3.7) внутри маршрута проектирования.

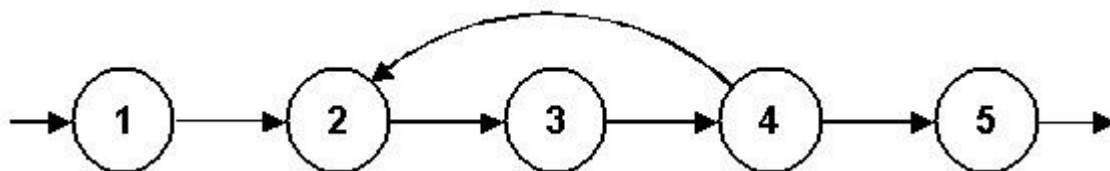


Рис. 3.7. Информационный обмен передачи данных из модуля в модуль

При передаче данных из модуля в модуль передаются либо значения параметров, либо их адреса, что удобно при небольшом объёме передаваемых данных и их простой структуре. В рассмотренном примере маршрута проектирования грузоподъёмного механизма вся информация технического задания передаётся в модуль 1. Часть её, нужная для выбора каната, этим модулем обрабатывается, на её основе создаётся новая информация, а затем вся информация (новая, обработанная и неизменённая) передаётся в модуль 2. Здесь также происходит преобразование части информации, необходимой для выбора барабана, выработка на её основе новой информации и передача всей информации (новой, преобразованной и неизменённой) в модуль 3. Те же процедуры повторяются в модулях 3 и 4. Промежуточные результаты, полученные в модуле 4, сравниваются с техническим заданием и, если они ему соответствуют, вся информация передаётся в модуль 5, завершающий маршрут проектирования. Если же результаты модуля 4 не совпадают с требованиями технического задания, вся информация возвращается в модуль 2 и этот участок маршрута проектирования повторяется.

При передаче данных через общие области или обменные зоны (рис. 3.8) данные передаются модулями в общую область в форме, определяемой особенностями модулей, воспринимающих эти данные, что удобно при малом и стабильном числе информационных связей и высокой частоте информационных обменов.

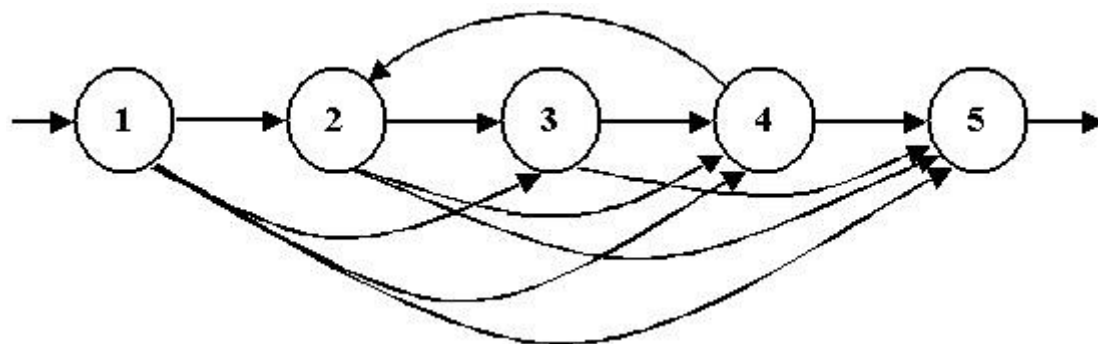


Рис. 3.8. Информационный обмен передачи данных через общие области взаимодействующих модулей

При передаче данных через банк данных (рис. 3.9) информационные связи между модулями устанавливаются через СУБД, а от пользователя требуется лишь описать задание на преобразование данных с помощью команд обращения к банку данных. В этом случае теряют значение ограничения на количество обслуживаемых маршрутов проектирования и количество вхождений модулей в различные маршруты, но затраты времени на поиск данных, запрашиваемых в БД, возрастают.

Реализация связей по информации через БД наиболее удобна при организации информационных потоков между различными пакетами прикладных программ и подсистемами САПР, так как позволяет вести сквозное проектирование сложных объектов.

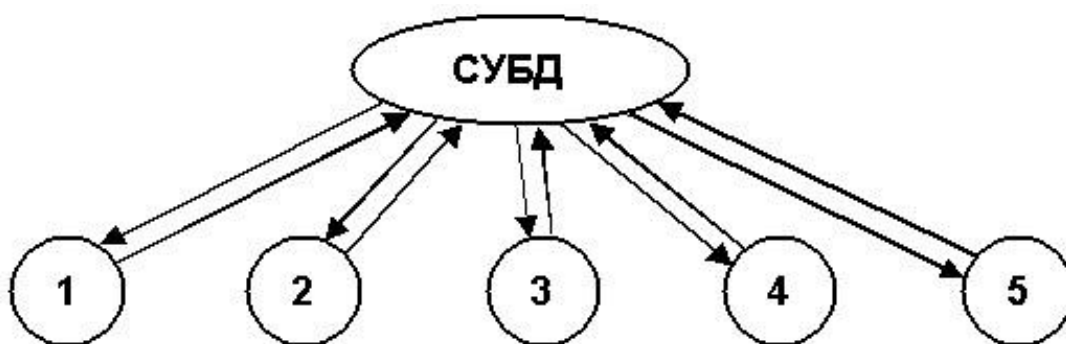


Рис. 3.9. Информационный обмен передачей данных через систему управления базой данных

3.5. Лингвистическое обеспечение

Лингвистическое обеспечение – это совокупность языков (рис. 3.10), применяемых для описания процедур автоматизированного проектирования и проектных решений.



Рис. 3.10. Классификация языков САПР

В зависимости от назначения языки САПР разделяются на группы.

Языки программирования предназначены для написания программного обеспечения и являются средствами разработчика САПР. Языки программирования должны:

- быть удобными для использования, что оценивается затратами времени на освоение языка и написание с его помощью программы;
- быть универсальными, что оценивается пригодностью языка для описания разнообразных алгоритмов, характерных для САПР;
- быть пригодными для создания эффективных объектных программ, что оценивается затратами машинных времени и памяти на исполнение программ.

С позиций универсальности и эффективности наилучшими являются машинно-ориентированные языки, а с позиций удобства – языки высокого уровня, в основной своей массе близкие по структуре к человеческим языкам романской группы.

Языки проектирования предназначены для описания информации об объектах и задачах проектирования и являются в основном средствами пользователя САПР.

Диалоговые языки являются лингвистическим обеспечением диалоговых режимов, без которых невозможно автоматизированное проектирование.

Диалоговый язык служит для оперативного обмена информацией между пользователем и системой и объединяет в себе средства языков: входного, выходного и сопровождения.

В современных САПР используется пассивный тип диалогового режима, когда прерывание вычислительного процесса предусмотрено алгоритмом маршрута проектирования. При этом возможны следующие типы обращения системы к пользователю:

- «запрос» – от пользователя требуется либо задание исходных данных (шаблон), либо выбор между ограниченным набором вариантов дальнейшего проектирования (меню);
- «информационное сообщение» – сообщение системой пользователю промежуточных и окончательных результатов проектирования, а также сведений о состоянии задания;
- «подсказка» – сообщение пользователю об ошибочности его действий или о невозможности по каким-то причинам выполнить полученное задание.

Выходные языки служат для представления результатов проектирования в форме, приемлемой для пользователя.

Входные языки служат для описания проектируемых объектов (ЯОО – языки описания объектов) и для описания заданий на выполнение проектных операций и процедур (ЯОЗ – языки описания заданий).

Промежуточные языки служат для унификации формы представления данных, которые могут быть описаны на различных входных языках. Использование промежуточного языка позволяет сохранять без изменений основной языковой процессор (наиболее сложную часть программной системы) при обработке исходных текстов, написанных на различных входных языках. При этом программа, написанная на каком-то входном языке, переводится с помощью конвертора (специальной транслирующей программы) на промежуточный язык. Затем основной транслятор переводит описание задачи с

промежуточного языка в объектную рабочую программу. При включении в систему нового входного языка достаточно разработать конвертор с этого языка на промежуточный, оставив основной языковой процессор без изменений.

Внутренние языки используются для унификации формы представления информации внутри ЭВМ, что облегчает решение проблем информационного согласования различных программ в САПР.

Языки сопровождения используют для корректировки и редактирования данных в ходе выполнения проектных процедур.

Языки описания заданий служат для описания заданий на выполнение проектных операций и процедур.

Языки описания объектов используют для описания свойств проектируемых объектов.

Схемные языки используют для описания исходной информации, представленной в виде структурных, функциональных и принципиальных схем.

Графические языки используют для описания исходной информации, представленной в виде чертежей, рисунков или эскизов.

Языки моделирования служат для описания алгоритмов функционирования объектов.

4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Одной из обязательных процедур на стадиях внешнего и внутреннего проектирования является поиск новых технических решений, реализация которых приводит к формированию облика и структуры проектируемого изделия. Этот процесс, как уже говорилось, носит итерационный характер и по мере уточнения и детализации описания изделия позволяет выбирать принципы функционирования и создавать заново, или модернизировать облик и структуру не только изделия в целом, но и его агрегатов, узлов и деталей.

Техническое решение является специфическим продуктом инженерного проектирования. Его можно рассматривать как рецепт преодоления противоречий между общественными потребностями и свойствами объекта в конкретных обстоятельствах путём изменения принципа действия, механизма его осуществления и способа реализации. В контексте процесса проектирования под **техническим решением** будем понимать совокупность определённым

образом взаимосвязанных конструктивных элементов и их признаков, реализующих заданный принцип действия и функцию технической системы.

4.1. Алгоритм синтеза новых технических решений

Методика синтеза новых технических решений (НТР) базируется на основных принципах конструктивной эволюции технических систем.

4.1.1. Принцип избыточности числа ТР

В любой момент времени для реализации любой функции количество заявленных технических решений в виде предложений, патентов, чертежей, моделей и опытных образцов всегда больше их серийно реализованного количества.

4.1.2. Принцип соответствия функций и ТР

Каждая функция на множестве имеющихся и возможных технических решений выделяет определённое подмножество технических решений, реализующих эту функцию.

4.1.3. Принцип относительного существования функций и ТР

Долговечность функций больше, чем долговечность технических объектов, созданных для их выполнения.

4.1.4. Принцип перехода через предел

Технический объект с постоянной функцией эволюционирует в направлении улучшения своих основных показателей, проходя следующие, наиболее вероятные этапы:

а) улучшение параметров технического объекта вплоть до приближения их значений к глобальному экстремуму при неизменности принципа действия и конструкции;

б) более или менее глубокая модернизация конструкции с последующим обязательным возвратом к развитию по пункту «а», причём цикл «а→б» повторяется до приближения к глобальному экстремуму по конструкции;

в) переход к более совершенному принципу действия с после-

дующим обязательным возвратом к развитию по циклу «а□б», причём цикл «а□б□в» повторяется до приближения к глобальному экстремуму по принципам действия.

4.1.5. Принцип конструктивной эволюции

Любой технический объект (при ретроспективном рассмотрении его развития) является звеном эволюционной цепочки конструктивных изменений, в которой изобретению начального технического решения обязательно предшествовало появление или создание новой функции.

4.1.6. Принцип предпочтения

При переходе на новые принципы действия или создании новых технических объектов вероятность использования конкретных физических эффектов тем выше, чем позднее они были открыты. Это означает, что недавно открытым физическим эффектам отдается большее предпочтение.

4.1.7. Принцип переноса решений

Новые, более рациональные принципы действия и конструкции, апробированные в одних технических объектах, переносятся в другие технические объекты при условии существенного совпадения их функций или функций их элементов.

4.1.8. Принцип механизации и автоматизации

В эволюционной цепочке любой конструкции, начинающейся от конкретной функции, имеет место последовательное появление технических объектов, понижающих степень вовлечения человека в выполнение функции.

Анализ изложенных принципов позволяет сформулировать ряд следствий, имеющих большое значение в методологии поиска новых технических решений. Так, из принципов 4.1.2 и 4.1.4 следует.

Следствие 1. Всегда одновременно существуют технические объекты, выполняющие одну и ту же функцию, но отличающиеся друг от друга конструкциями и принципами действия.

Также из принципа 4.1.4 следует.

Следствие 2. Технические объекты с постоянной функцией, у которых технические решения приблизились к глобальному экстремуму (по принципу действия и конструкции), стабилизируются и прекращают конструктивную эволюцию при условии, что появятся новые физические эффекты, обеспечивающие получение улучшенных принципов действия.

Из принципов 4.1.4 и 4.1.5 следует.

Следствие 3. Разнообразие технических объектов увеличивается за счёт внедрения новых технических решений, реализующих вновь появляющиеся функции или более эффективно выполняющих существующие функции (эффективность технических решений оценивается по принятым критериям сравнения).

Из принципа 4.1.7 следует.

Следствие 4. При создании новых технических объектов часто используют старые апробированные принципы действия и конструкции при условии существенного совпадения их функций или функций их элементов.

Структуру процесса синтеза новых **ТР** дорожно-строительных машин и оборудования можно представить в виде следующего алгоритма, являющегося моделью процесса переработки информации в ходе синтеза:

$A = Э1(П11, П12, П13), Э2(П21, П22, П23), Э3(П31, П32, П33), Э4(П41, П42, П43),$

$Э5(П51, П52, П53, П54), Э6(П61, П62, П63, П64, П65, П66, П67),$

где $Э_j$ – этапы процесса синтеза новых **ТР**, соответствующие блок-схеме на рис. 4.1; $П_{ji}$ – процедуры обработки информации, j – порядковый номер этапа, i – порядковый номер процедуры.

В ходе дальнейшего изложения материала будет использован ряд терминов, определения которых даны ниже.

Критерий оптимизации K – показатель, экстремальные значения которого соответствуют наилучшему техническому решению.

Критерий оценки L – обязательное требование, имеющее вид ограничения, налагаемого на качество выполнения функции техническим решением.

Оценка – придание числовых значений соответствующим критериям и анализируемым техническим решениям.

Критерий выбора M – обобщённый критерий, вытекающий из задачи.

Выбор – идентификация элемента множества технических решений по заданному критерию выбора M .

Решение – утверждение выбора (то есть, единичный акт подтверждения выбора того или иного технического решения). Решение всегда остаётся прерогативой человека.

4.2. Выделение проблемной ситуации $\mathcal{E}_1$

Потребность в новом техническом решении возникает только в том случае, когда человек не находит существующих средств и/или способов удовлетворения возникших личных или социальных нужд.

Таким образом, первое, что нужно сделать при формулировании задачи синтеза новых технических решений – это установить реальность существования проблемы и определить, существует ли потребность её решения. Складывающаяся при этом ситуацию можно охарактеризовать как возникновение противоречия между потребностью и возможностью, а, как известно, именно противоречия стимулируют прогресс в любых областях человеческой деятельности и техника в этом смысле не является исключением.

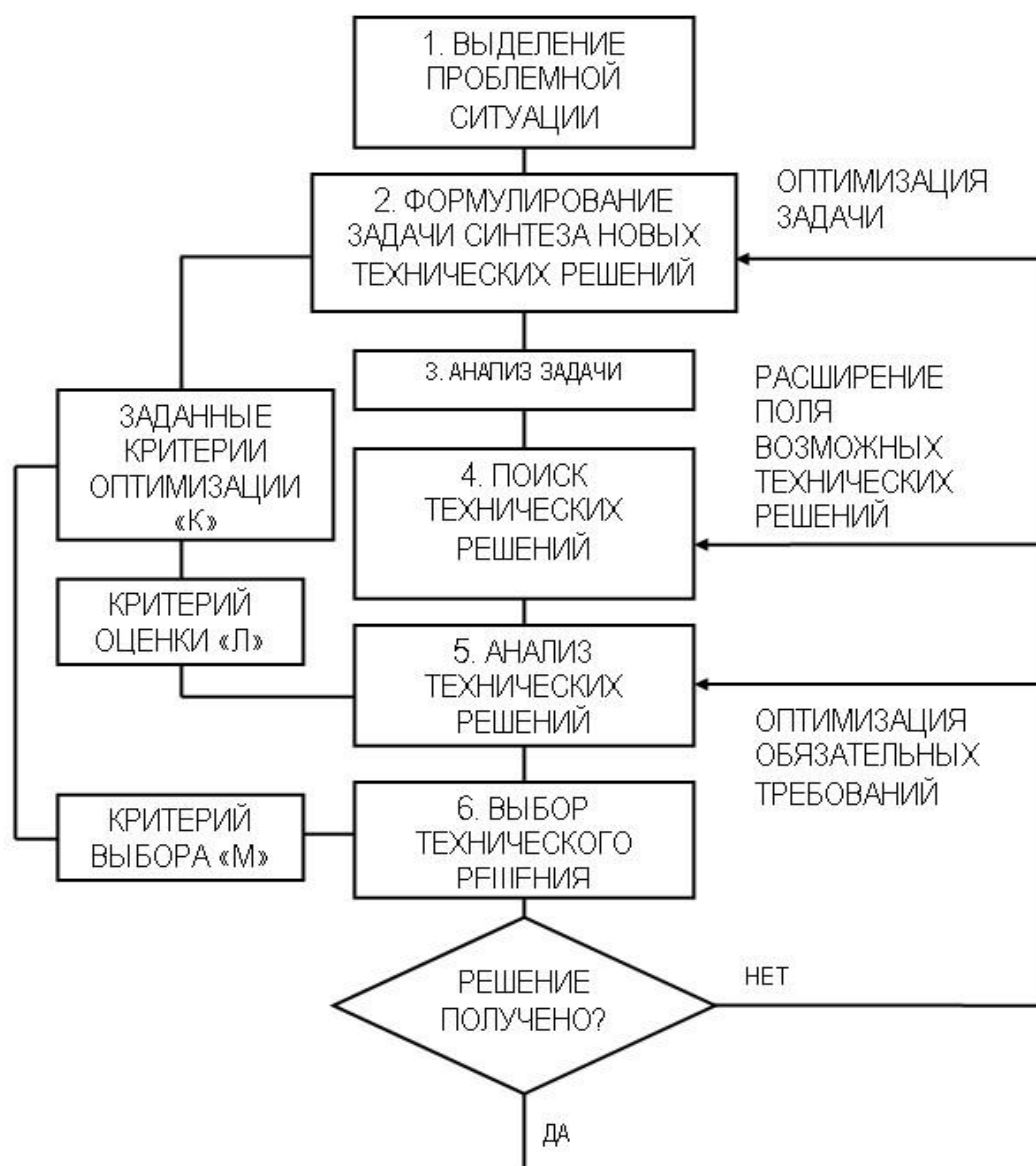


Рис. 4.1. Блок-схема алгоритма синтеза новых технических решений

В качестве примера можно привести одно из противоречий, заложенных в конструкции автогрейдера. Высокая планирующая способность, требующаяся от этой машины, обеспечивается, в частности, большим расстоянием (базой) между её передними и задними колёсами, которое отрицательно влияет на маневренность автогрейдера. Улучшение маневренности автогрейдера за счёт сокращения его базы приводит к ухудшению планирующей способности машины. Таким образом, попытка улучшить одно существенное свойство машины приводит к ухудшению другого, не менее важного свойства. Разрешение этого противоречия стало предметом целого ряда авторских свидетельств и патентов.

Выделение проблемной ситуации складывается из следующих процедур:

Π_{11} – выделение основных потребностей производства в способах его ведения, технических устройствах для осуществления этих способов или способах изготовления таких устройств.

Π_{12} – формирование представления об уровне развития производства с помощью сбора информации о применяющихся в данной области способах, материалах, технических устройствах, методах и пр.

Π_{13} – поиск несоответствия между потребностями и способами их удовлетворения, осознание его содержания и формулирование проблемной ситуации.

4.3. Формулирование задачи синтеза нового технического решения $\mathcal{E}_2$

Задачей в данном контексте можно назвать ситуацию, при которой существует несколько способов достижения поставленной цели, различающихся эффективностью, затратами времени и ресурсов.

Формулирование задачи синтеза новых технических решений фактически сводится к пониманию назначения проектируемого изделия. Таким образом, эта правильно сформулированная задача равнозначна формулировке его основной функции.

Алгоритм этапа формулирования задачи включает в себя следующие процедуры обработки информации:

Π_{21} –выделение исходного состояния дел (вход **A**), существующего перед выполнением необходимого преобразования.

Π_{22} – выделение конечного, желаемого состояния дел (выход **B**) после необходимого преобразования.

Π_{23} –формулирование основной функции проектируемого изделия.

Таким образом, на этом этапе необходимо сформулировать причинную связь между входными и выходными величинами технической системы.

Если исходное состояние в виде входных величин обозначить **$G_a i$** , а сопряжённые выходные величины **$G_b i$** , то физическую функцию можно записать как

$$G_a i \Rightarrow G_b i.$$

Это означает, что входную величину необходимо преобразовать в выходную величину. Стрелка означает «преобразование» или «изменение состояния или свойства». Индекс i обозначает соответствующие величины от 1-й до n -й. Общая функция технической системы

$$\Sigma G a_i \Rightarrow \Sigma G b_i.$$

Формализованное описание основной функции технической системы имеет такой наиболее распространённый вид

$$\Phi = (D, O, Y),$$

где D – указание действия, производимого технической системой, и приводящего к желаемому результату; O – указание объектов (объекта), на которые направлено действие; Y – указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие.

Формулировка основной функции не должна включать в себя варианты технических решений.

В качестве примера можно рассмотреть асфальтоукладчик как техническое средство для устройства асфальтобетонного покрытия. Здесь исходным состоянием «А» является асфальтобетонная смесь, доставленная к месту укладки, а конечным и желаемым «В» – слой асфальтобетона заданной толщины, ширины и плотности. Таким образом, основной функцией асфальтоукладчика является трансформация асфальтобетонной смеси в готовое асфальтобетонное покрытие с заданными размерами и прочностью.

В зависимости от вида накладываемых ограничений при описании основной функции технической системы задачи могут иметь различную степень сложности. «Минимальная задача» (т.е. задача, предусматривающая минимальные изменения существующего устройства) получается при введении предельных ограничений на изменение исходной технической системы. Она формулируется приблизительно так: «взять то, что есть и убрать недостаток либо добавить новое качество». «Максимальная задача» (т.е. задача, допускающая любые решения) получается предельным снятием ограничений. При этом подходе исходную техническую систему разрешается заменять принципиально иной. Вообще, чем меньше ограничений накладывается на состояния «А» и «В» на этом этапе синтеза, тем шире спектр получаемых технических решений и тем большей оригинальностью они отличаются.

Таким образом, любую техническую задачу можно представить как процесс «С» перехода от начального состояния «А» (входа) к конечному

результату «В» (выходу), который можно описать алгоритмом преобразования входа в выход.

Следует указать, что формулирование задачи в начале процесса проектирования требует особой осмотрительности, так как оно чревато рядом ошибок, среди которых достаточно распространены следующие две. Первая – подмена задачи решением (например, формулировка «Спроектировать бульдозер с неповоротным отвалом на базе гусеничного трактора» содержит не задачу, а её решение, так как в самых общих чертах описывает уже существующую конструкцию). Вторая – постановка фиктивных задач, решение которых не имеет практической пользы (например, проектирование установки для обезвоживания битума бессмысленно, так как обезвоживание исключено из современной технологии приготовления асфальтобетонной смеси).

4.4. Анализ задачи Э₃

На этом этапе необходимо расчленить основную функцию на структуры подфункций и структуры элементарных функций. В общем, для одной задачи, как правило, существует несколько различных структур функций. Задачей этапа Э₃ является выявление возможных структур функций и выделение оптимальной из них.

Под *элементарной функцией* следует понимать наименьшую, в дальнейшем практически уже неделимую (расчленяемую) функцию.

Подфункции состояются из двух или нескольких элементарных функций. Несколько подфункций образуют основную функцию.

Для того чтобы функциональная модель достаточно полно и правильно отражала существо разрабатываемой технической системы, ее формирование должно осуществляться на основе определённых принципов:

- соответствие выделяемой подфункции как частным целям данной составляющей системы, так и общим целям, ради которых создаётся техническая система в целом;
- чёткая определённость специфики действий, обуславливающих содержание выделяемой функции;
- соблюдение строгой согласованности целей и задач, определивших выделение данной подфункции с действиями, составляющими её содержание.

Разнообразие функций, выполняемых технической системой, можно классифицировать исходя из её содержания и роли в удовлетворении потребностей, степени отражения сущности технической системы, характера возникновения и т.д.

Наиболее существенные для проектирования рабочие функции можно условно разделить на две группы: функции, обеспечивающие существование самой технической системы; функции достижения цели.

Функции существования могут быть разделены на функции связи (осуществляющие связь с внешней средой и внутри системы), функции прочности (обеспечивающие целостность системы), функции энергоснабжения и т.д.

Функции достижения цели представляют собой группу функций, ради которых создаётся сама техническая система: преобразования энергии, функции регулирования (изменения параметров физических процессов и материальных объектов), функции обработки и т.д.

Структура функций строится сверху вниз от основной функции. Это позволяет, во-первых, выявить взаимосвязь функций и, во-вторых, определить ненужные функции. Функциональная модель проектируемого нового изделия может иметь следующие уровни:

- 1 – уровень основной функции изделия;
- 2 – уровень вспомогательных, обеспечивающих функций;
- 3 – уровень частичных функций, реализуемых сборочными единицами;
- 4 – уровень элементарных функций, реализуемых деталями.

Выделение вспомогательных функций, т.е. областей поиска решений, зависит от умения и опыта проектировщика. Не всегда легко разделить основную функцию проектируемой технической системы на совокупность вспомогательных. Особые трудности возникают при решении новых проблем, когда для выбора функций нельзя опереться ни на данные исследований, ни на практический опыт, а проектировщику необходимо представить внутреннюю структуру того, что существует пока только в его воображении. Проще всего это можно сделать, взяв какое-либо традиционное решение, и идя от него назад, выявить вспомогательные функции. При этом важно, чтобы выбранные вспомогательные функции:

- были существенными для любого технического решения;
- не зависели одна от другой;
- охватывали основные аспекты работы машины.

Можно выделять наиболее часто используемые в технических системах функциональные элементы: исходные элементы, несущие элементы, элементы связи, элементы передачи, двигатели, элементы управления, элементы формирования объёмов и потоков, рабочие органы, движители, элементы гашения скоростей и ускорений.

Возвращаясь к рассмотренному выше в качестве примера асфальтоукладчику, можно отметить, что для него вспомогательными функциями и соответствующими им функциональными элементами, обеспечивающими выполнение основной функции, могут быть:

- 1) выработка механической энергии (двигатель);
- 2) передача механической энергии на расстояние (трансмиссия);
- 3) наличие запаса асфальтобетонной смеси (приёмное устройство);
- 4) распределение асфальтобетонной смеси по ширине строящегося покрытия (распределяющий рабочий орган);
- 5) степень уплотнения асфальтобетонной смеси (уплотняющий рабочий орган);
- 6) отделка поверхности уложенного слоя смеси (выглаживающий рабочий орган);
- 7) соблюдение заданных продольного и поперечного уклонов дорожного покрытия (система стабилизации рабочих органов относительно продольных и поперечных уклонов дорожного покрытия);
- 8) стабилизация структурных элементов системы в пространстве (рама);
- 9) передвижение в рабочем и транспортном положениях (движитель);
- 10) управление рабочими операциями (система управления).

Алгоритм анализа задачи включает в себя следующие процедуры обработки информации:

П₃₁ – разделение основной функции на совокупность вспомогательных при соблюдении требуемых связей технической системы типа «причина-следствие».

П₃₂ – выделение частичных функций с помощью аналогичной операции, отличающейся тем, что ряд функций, вспомогательных для основной функции, становятся условно основными для рассматриваемой функциональной группы.

П₃₃ – представление структуры функций в виде графа, вершинами которого являются функции, а дуги отражают взаимосвязи между ними.

П₃₄ – анализ структуры функций и её упрощение за счёт исключения недостаточно обоснованных или ненужных функций.

4.5. Поиск технических решений Э₄

Это наиболее творческий этап в процессе проектирования, результатом которого должно стать максимально возможное количество решений, разрешающих основное техническое противоречие в рамках поставленной задачи.

Этап поиска технических решений можно разделить на следующие последовательно выполняемые процедуры:

П₄₁ – составление морфологической карты поиска технических решений.

П₄₂ – независимое рассмотрение каждой функции и выявление различных вариантов её технической реализации.

П₄₃ – расширение поля возможных технических решений с помощью эвристических приёмов.

Морфологическая карта составляется следующим образом. В левом столбце перечисляются все вспомогательные (частичные или элементарные) функции. Далее в каждой строке перечисляются технические решения, с помощью которых можно выполнить данную функцию. При этом заполнение каждой строки карты необходимо рассматривать как самостоятельную задачу, не принимая во внимание соседние строки.

Морфологические карты предназначены для стимулирования творческого мышления. Они гарантируют, что ни одно новое возможное решение задачи не будет упущено. Преимущество метода – в малых затратах времени на составление карты. Недостаток – в быстром росте количества комбинаций по мере увеличения количества функций и решений, их удовлетворяющих (например, карта 10×10 дает 10 млрд. решений задачи). Поэтому для того, чтобы общее количество технических решений системы было доступным для

последующего анализа, важно оставаться на уровне принципиальных частичных решений, не рассматривая незначительные вариации. Кроме того, в отличие от оригинального морфологического метода Ф. Цвики, желательно, чтобы частичные решения отражали только практически осуществимые, а не все принципиально возможные.

На этом этапе проектировщику следует ознакомиться с идеями и решениями, содержащимися в научно-технической литературе, патентах, конструкторских разработках и других доступных источниках, а также самостоятельно проанализировать имеющуюся информацию. Для развития творческих способностей можно предложить следующие эвристические приёмы интенсификации подсознательной мыслительной активности.

1. **Неология (принцип переноса).** Использование тривиальных и опытно-конструкторских разработок, а также нетрадиционных решений данной, смежных и далеко отстоящих отраслей науки и техники (т.е., процессов, конструкций, материалов).

2. **Адаптация.** Приспособление известных процессов, конструкций, форм, материалов и их свойств к конкретным условиям.

3. **Мультипликация.** Увеличение количества однотипных функций и элементов внутри системы (от одноковшового к многоковшовому, от одноэтажного к многоэтажному и т.п.).

4. **Дифференциация.** Разделение функций и элементов системы. При этом ослабляются функциональные связи между элементами системы, повышается степень свободы их взаимного перемещения, представляются как бы независимыми друг от друга в пространстве и во времени элементы производства, конструкции и рабочие процессы.

5. **Интеграция.** Объединение, совмещение, сокращение или упрощение функций, форм элементов и системы в целом. Диапазон приёмов интеграции варьируется от простейших видов соединения до сращивания технических систем с живыми организмами. Проектируемая система может объединять два и более исходных элементов в разных комбинациях. Так, возможны сочетания старого со старым, старого с новым, нового с новым или совмещение разнородных функций (например, дизеля и генератора, катка и бульдозера, турбореактивного двигателя и снегоочистителя).

6. **Импульсация.** Импульсация охватывает группу методов и приемов, связанных с процессами, отличающимися прерывистостью протекания (возникновение и исчезновение формы, объёма, массы, усилий, энергетических и других характеристик). Примеры импульсации: закрепление деталей включением электромагнитов, взвешивание гири, создание давления поршневым насосом.

7. **Динамизация.** Динамизация предполагает, что характеристики системы или ее элементов должны быть изменяющимися и оптимальными на каждом этапе процесса или на новом режиме. Изменения могут происходить как в ходе процесса (например, адаптирующиеся органы землеройных машин), так и до его начала (например, аккумулярование энергии), но они должны происходить постоянно. Динамизация и импульсация противоположны, в силу чего одновременно можно использовать лишь один из этих приёмов.

8. **Инверсия.** Замена привычного принципа, подхода, взгляда противоположным, обращение вреда в пользу, усиление вредного фактора до такой степени, что он перестаёт быть вредным, устранение нескольких вредных факторов их совмещением. Примеры инверсии: отказ от традиционного круглого сечения валов, отказ от требуемой твёрдости и жёсткости, введение охлаждения вместо нагрева, замена долговечного элемента недолговечным, гашение колебаний наложением одного на другое.

9. **Аналогия.** Отыскание и использование подобия в функциях систем, принадлежащих к различным видам техники и даже жизненным формам. Наиболее крупными разновидностями её являются техническая и биологическая аналогия, а также аналогия образов.

Техническая аналогия ведёт к взаимообогащению различных отраслей техники: решения переносятся из военной сферы в гражданскую, из производственной в бытовую и, наоборот. Например, детский волчок был прообразом современных гироскопических приборов.

К биологической аналогии могут быть отнесены антропоморфизм (подобие технических систем живым существам), мимикрия (способы маскировки), идеи регенерации (протезирование) и др.

Образная аналогия базируется на образно-художественном мышлении и широкой научно-технической эрудиции. Так, вид качающейся люстры собора в

г. Пиза подал Галилею идею маятника для измерения пульса, а падающее яблоко навело Ньютона на мысль о существовании всемирного тяготения.

10. **Идеализация** заключается в представлении идеального решения, от которого следует отталкиваться. Идеализация в технике – это бесконечное увеличение или уменьшение длины, ширины, площади, объёма, формы, массы (в частности, последнего можно добиться, компенсировав массу системы подъёмной силой другой системы, к ней присоединённой).

Идеальная машина может обладать массой, объёмом и площадью, которые одновременно являются характеристиками объекта, с которым она работает (обрабатывает, транспортирует и т.д.). Идеальная машина должна сама себя обслуживать (обеспечивать энергоносителями и исходными материалами или сырьём, контролировать производственный процесс, ремонтироваться и регулироваться).

Стоимость машины должна стремиться к нулю.

Применение эвристических приемов обеспечивает получение максимального количества разновидностей элементов технических решений и их признаков от одного или нескольких исходных прототипов.

Таблица 4.1

Морфологическая карта новых технических решений
для асфальтоукладчика

Вспомогательные функции	Частичные технические решения				
	1	2	3	4	5
А. Транспортное и рабочее перемещение	Гусеничный движитель	Пневмоколесный движитель	Колеснорельсовый движитель	В прицепе к автосамосвалу	
Б. Распределение асфальтобетонной смеси по ширине	Шнеки	Лопасть с поперечными возвратнопоступательным движением	Бункер бездонный с поперечным возвратнопоступательным движением	Металлический конвейер и сбрасывающая тележка	

покрытия					
В. Уплотнение асфальтобетонной смеси	Виброплита	Вибровалец с продольным движением	Вибровалец с поперечным возвратнопоступательным движением	Пневмокатки	Виброплита с ультразвуковым возбудителем колебаний
Г. Выглаживание поверхности и уложенного слоя	Обогреваемая плита	Обогреваемые металлические ролики			

Результатом выполнения этого этапа должна стать заполненная морфологическая карта в виде схем частичных решений с кратким текстовым пояснением. В табл. 4.1 дан пример морфологической карты поиска новых технических решений, построенной для четырех вспомогательных функций асфальтоукладчика. Если из каждой строки такой карты взять по одному (любому) частичному решению, то получим одно из возможных технических решений для асфальтоукладчика. Например, машина, оборудованная гусеничным двигателем, шнеками, виброплитой и обогреваемой выглаживающей плитой, является традиционным решением асфальтоукладчиков марки “Blaw-Knox”.

Общее же количество вариантов технических решений для асфальтоукладчика, содержащихся в морфологической карте и отличающихся одно от другого хотя бы одним признаком, определяется перемножением количества вариантов частичных решений в каждой строке (в рассмотренном примере таких вариантов 160).

4.6. Анализ технических решений Э₆

Положительный эффект от применения современных методов стимулирования творческого процесса заключается в том, что они, во-первых, заставляют проектировщика выйти за пределы привычного круга мыслей и, во-вторых, предостерегают от желания начать разработку первой пришедшей в голову идеи. Однако количество решений, создаваемое при этом проектировщиком, слишком велико для исследования методом сознательного осмысления каждого из них.

Выйти из создавшегося положения можно, либо автоматизировав процесс поиска новых технических решений, либо разработав стратегию сокращения поля возможных решений до единственного творческого решения с минимальными затратами времени и средств, т.е. разработав план анализа и принятия решения.

Автоматизация, т.е. использование для решения этой задачи ЭВМ, предусматривает перебор всех возникающих решений и сравнение их между собой по критерию эффективности, выбранному проектировщиком.

Рациональный план анализа технических решений включает в себя следующий перечень последовательных действий:

П₅₁ – составление перечня обязательных требований к качеству выполнения каждой частичной функции.

П₅₂ – исключение из морфологической карты вариантов частичных решений, не удовлетворяющих обязательным требованиям.

П₅₃ – составление матрицы парных сравнений и проверка оставшихся частичных решений на совместимость.

П₅₄ – перечисление всех комбинаций частичных решений без учёта их возможной несовместимости.

Для любой нормально работающей технической системы существует некоторый полный список технических требований, которым удовлетворяет техническая система и ее элементы, и исключение или неудовлетворение любого требования из полного списка приводит либо к прекращению функционирования технической системы, либо к снижению её работоспособности и эффективности. Таким образом, полный список представляет собой необходимый и достаточный набор технических

требований, реализация которых позволяет получить нормально работающую техническую систему.

Количество требований в полном списке зависит от количества выполняемых технической системой функций, свойств и признаков её структурных элементов и взаимосвязей технической системы с внешней средой.

Вся совокупность требований полного списка всегда может быть разделена на две группы: обязательные требования к качеству выполнения функций проектируемой машины, невыполнение которых приводит к прекращению функционирования технической системы; дополнительные требования, невыполнение которых приводит к ухудшению эффективности и работоспособности технической системы.

Формализованное описание технических требований имеет вид $TT = /(A) (B) (C)/$,

где $/(A) (B) (C)/$ – три структурные части, отвечающие за следующие вопросы: **(A)** – качество реализации функции; **(B)** – функциональное назначение соответствующего технического требования; **(C)** – ограничения, при которых выполняется функция.

Для описания **(A)** используется набор глаголов – увеличить, уменьшить, обеспечить, улучшить и т.п.

Для описания **(B)** используется набор признаков, например, стабильность, теплопроводность, устойчивость, планирующая способность, смешивание, резание, измельчение и т.п.

На примере асфальтоукладчика для четырёх выделенных вспомогательных функций (см. табл. 4.1) в соответствии с задачей можно сформулировать следующие обязательные требования.

Для функции **A** – $/(обеспечить) (рабочие скорости машины) (в диапазоне от 1,5 до 30 м/мин); /(увеличить) (транспортную скорость машины) (до 30 км/ч)/$.

Для функции **B** – $/(обеспечить) (распределение асфальтобетонной смеси) (на ширину 7,5м); /(уменьшить) (сегрегацию смеси при распределении)/$.

Таблица 4.2

Пример анализа морфологической карты поиска новых технических решений

Обязательные технические требования	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	Г ₁	Г ₂
1. Скорость укладки 1,5...30 м/мин	1	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2. Транспортная скорость ≥ 30 км/ч	0	1	0	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3. Ширина укладки $\leq 7,5$ м	–	–	–	–	0	1	1	1	1	1	0	1	0	–	–
4. Минимизировать сегрегацию смеси	–	–	–	–	0	1	1	0	–	–	–	–	–	–	–
5. Толщина уплотнения 20...150 мм	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1	1	1	–	–
6. Исключить доуплотнение	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0	1	0	1	–	–
7. Отклонение $\leq \pm$ 1,5 мм на 3 м	–	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1
Допустимые варианты решений		+					+	+			+		+	+	+

Для функции **B** – /(обеспечить) (уплотнение слоёв асфальтобетонной смеси) (толщиной от 20 до 150 мм)/; /(обеспечить) (окончательное уплотнение смеси) (без дополнительных уплотняющих средств)/.

Для функции **Г** – /(уменьшить) (предельные отклонения поверхности покрытия от заданных отметок) (до $\pm 1,5$ мм под трехметровой рейкой)/.

Сокращение поля возможных решений ведётся путём анализа строк морфологической карты. Поскольку количество строк равно количеству функций проектируемой технической системы, каждую строку можно анализировать отдельно.

В таблице 4.2 приведены результаты анализа частичных решений с помощью морфологической карты поиска новых технических решений для асфальтоукладчика. Эффективность того или иного частичного решения здесь оценивалась по двухбалльной шкале: 1 – обязательное требование удовлетворяется, 0 – обязательное требование не удовлетворяется. Прочерк означает, что данное частичное решение относительно данного требования не оценивается.

В результате для последующей комбинации остались следующие частичные решения: пневмоколесный движитель (функция передвижения **A2**); лопасть и бункер (распределение асфальтобетонной смеси **B2, B3**); вибровалец с поперечными возвратно-поступательными движениями и виброплита с ультразвуковым возбудителем колебаний (уплотнение асфальтобетонной смеси **B3, B5**); обогреваемые плита и металлические ролики (выглаживание поверхности слоя смеси **Г1, Г2**). Таким образом, общее количество возможных комбинаций частичных решений для асфальтоукладчика сократилось со 160 до 8 ($1 \times 2 \times 2 \times 2 = 8$).

При объединении частичных решений общее техническое решение должно содержать только технически совместимые элементы и их признаки. Вопрос о совместимости двух решений возникает тогда, когда между ними есть различия. При этом **под совместимостью понимается такая общность элементов и их признаков в некоторых свойствах, которая обеспечивает возможность их взаимодействия в техническом решении.**

Выявить несовместимые частичные решения можно легко, используя матрицу парных сравнений, в которой попарно совместимые решения отмечаются 1, а несовместимые – 0.

В таблице 4.3 приводится пример матрицы парных сравнений для проверки на совместимость частичных решений асфальтоукладчика. Матрица остается незаполненной в тех местах, которые относятся к сочетаниям в пределах областей решений (например, **A1, A2**, расположенных на диагонали) и/или идентичным сочетаниям (например, **A1B2=B2A1**, расположенным симметрично по каждую сторону диагонали).

Таблица 4.3

Матрица парных сравнений для проверки совместимости частичных решений асфальтоукладчика

Варианты частичных решений	A1	A2	B2	B3	B4	B3	B4	Г1	Г2
Передвижение машины									
A1			1	1	1	1	1	1	1
A2			1	1	1	1	1	1	1
Распределение смеси по ширине покрытия									

Б2						1	1	1	1
Б3						1	1	1	1
Б4						1	1	1	1
Уплотнение асфальтобетонной смеси									
В3								1	1
В5								1	1
Выглаживание поверхности слоя									
Г1									
Г2									

На этапе анализа технических решений цель использования матрицы парных сравнений состоит в том, чтобы убедиться, что все возможные пары частичных решений рассмотрены. Из табл. 4.3 следует, что все рассмотренные частичные решения совместимы друг с другом.

4.7. Выбор технического решения Э6

Содержание этапа Э6 заключается в сопоставлении возможных решений, обеспечивающих достижение поставленной цели, и выборе наилучшего из них.

Если описать поставленную цель функцией

$$C = C(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ – независимые параметры, определяющие характеристики проектируемой дорожно-строительной машины, то задача принятия решения сводится к оптимизации целевой функции.

Формализация процесса выбора решения в реальных условиях затруднена, прежде всего, большим количеством требований, не всегда согласованных между собой (например, требования максимальной надёжности и минимальной стоимости изготовления изделия), а также качественным (а не количественным) характером некоторых из них, что исключает возможность их количественного сравнения и затрудняет поиск оптимума.

Кроме того, процесс выбора технического решения характеризуется высокой степенью неопределенности, которая обусловлена недостатком информации (особенно на ранних этапах проектирования) для обоснованного принятия решения.

Схему технического решения машины выбирают путем параллельного анализа нескольких вариантов, которые подвергают тщательной сравнительной оценке относительно дополнительных требований, среди которых могут быть следующие:

- рациональность конструкции;
- простота конструкции;
- совершенство кинематической и силовой схем;
- габариты устройства;
- масса устройства;
- энергоёмкость;
- степень унификации;
- возможность последующего развития, форсирования и совершенствования;
- возможность образования на базе исходной модели производных машин и модификаций;
- сложность изготовления;
- надёжность;
- расходы на рабочую силу;
- удобство обслуживания, сборки-разборки, осмотра, наладки, регулировки и т.д.

Это далеко не полный перечень дополнительных требований, которые следовало бы учитывать при сравнительной оценке технических решений. Для каждой конкретной группы устройств должны быть выбраны главные, наиболее характерные группы требований – показателей качества новой техники. Прежде всего, надо отобрать те требования, которые в наибольшей степени соответствуют следующим критериям:

- 1 – существенность технического требования для данного вида техники;
- 2 – соответствие технического требования целевому назначению объекта проектирования;
- 3 – прогрессивность технического требования;
- 4 – возможность формулировки технического требования на стадии технического задания;
- 5 – нестабильность значения технического требования;

6 – отсутствие границ у диапазона варьирования данного технического требования.

При этом исключаются требования, не существенные для данного вида техники, предельные и стабильные (средний срок службы, напряжение в электросети и т.п.), а также требования, трудноопределимые на стадии технического задания (удельная трудоёмкость, металлоёмкость и т.п.). Каждому дополнительному техническому требованию в зависимости от его относительной важности в обеспечении заданной для группы технических решений цели присваивается весовой коэффициент, принимающий значение от 0 до 1. При этом сумма весовых коэффициентов должна быть равна 1. Если требования хорошо известны, то можно сразу написать соответствующие коэффициенты. В противном случае следует прибегать к специальным методам ранжирования и взвешивания требований.

Наиболее простым из них является метод парного сравнения. Последовательность ранжирования и взвешивания дополнительных технических требований по этому методу следующая.

1. Составить таблицу предпочтений в виде квадратной матрицы

$$A = \{ \{ a_{ij} \} \},$$

где $a_{ij} = 1$, если предпочтительнее требование в строке; $a_{ij} = 0$, если предпочтительнее требование в столбце.

2. Определить весовой коэффициент каждого требования, для чего:

а) найти сумму элементов a_{ij} по строкам матрицы для каждого дополнительного технического требования. Ранг требования совпадает с итоговым числом для строки. Требование с наибольшим числом является наиболее предпочтительным, требование с наименьшим – наименее предпочтительным;

б) сложить полученные по строкам матрицы частные суммы;

в) произвести расчёт весовых коэффициентов требований как частное от деления частной суммы по строке на общую сумму.

В таблица 4.4 приведен пример матрицы парных сравнений, в которой требования с равной частной суммой ($TT1$, $TT2$ и $TT4$, $TT7$) были подвергнуты дополнительному анализу с целью выяснения их относительной важности. В

результате этого анализа были назначены новые частные суммы при условии сохранения общей суммы, равной 28.

Наилучшее техническое решение может быть найдено по величине критериев эффективности нескольких вариантов решения: $TP_1, TP_2, \dots, TP_n$ в диапазоне дополнительных технических требований $TT_1, TT_2, \dots, TT_m$. Под эффективностью понимается степень соответствия технического решения TP данному техническому требованию.

Значение критерия эффективности W_{ij} варианта TP_i относительно дополнительного технического требования TT_j назначается исходя из 10 баллов (0 – наихудшее соответствие TP данному требованию; 10 – наилучшее соответствие). Результаты расчёта значений W_{ij} заносятся в матрицу решений (см. табл. 4.5).

Как правило, вариант TP , оптимальный с точки зрения одного требования, не является оптимальным с точки зрения других требований. Здесь имеет место типичная задача выбора компромиссного решения, т.е. решения, которое, не будучи строго оптимальным ни для одного из требований, обладает приемлемой эффективностью в заданном диапазоне технических требований. Для каждого варианта технического решения TP_i получим обобщенный критерий выбора как

$$M_i = \alpha_1 W_{i1} + \alpha_2 W_{i2} + \dots + \alpha_m W_{im},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ – весовые коэффициенты дополнительных технических требований. Предпочтение следует отдать варианту, для которого M_i максимально.

Обобщая вышесказанное, можно предложить следующий набор последовательных операций обработки информации для этапа Э6:

P_{61} – составить как можно более полный список дополнительных технических требований;

P_{62} – ранжировать дополнительные технические требования по степени их предпочтения;

P_{63} – определить весовые коэффициенты α_j для каждого дополнительного требования;

P_{64} – произвести оценку технических решений исходя из десятибалльной шкалы, W_{ij} ;

Π_{65} – найти произведение оценок каждого TP на весовой коэффициент каждого технического требования, т.е., $\alpha_j W_{ij}$;

Π_{66} – просуммировать $\alpha_j W_{ij}$ по каждому TP ;

Π_{67} – выбрать наиболее рациональное TP , для которого $M_i = \max$.

4.8. Автоматизированный синтез технических решений

Методы стимулирования творческого процесса позволяют человеку, во-первых, выйти за пределы привычного круга представлений и, во-вторых, осознать неприемлемость использования первой попавшейся идеи. Однако слишком большое количество технических решений, генерируемых при этом, препятствует их сознательному осмысливанию. Таким образом, практическая реализация указанных преимуществ возможна только с помощью автоматизированных методов сравнительного анализа решений, обеспечивающего его высокую скорость.

Такие возможности предоставляются автоматизированными информационно-поисковыми системами, способными по формальным поисковым признакам структурировать и сортировать значительные объёмы информации. Более подробно логику работы такой системы можно рассмотреть на примере алгоритма синтеза рациональных технических решений, предложенного А.Н. Новиковым и Н.Н. Живейновым, который позволяет:

- формировать множество альтернативных технических решений;
- формировать перечень ранговых требований технического задания;
- находить технические решения, наилучшим образом отвечающие требованиям технического задания;
- формировать наиболее эффективное техническое задание.

Идея алгоритма состоит в том, что информацию об известных технических решениях определенного назначения представляют в виде И-ИЛИ-дерева. Варьируя на этом дереве конструктивными элементами и признаками, можно получать как известные, так и новые технические решения. И-ИЛИ-дерево – это многоуровневая (иерархическая) морфологическая таблица. Метод синтеза технических решений на И-ИЛИ-дереве отличается от метода морфологического анализа и синтеза тем, что человек только составляет усложнённую морфологическую таблицу с предварительной оценкой качества технических решений и их элементов. Отбор рациональных технических

решений из заданного списка требований и формирование их иерархического описания может выполняться автоматически.

Так, автоматизированный синтез технических решений для транспортной системы технологического процесса очистки береговых наносов от нефтепродуктов можно осуществить с помощью трёх информационных массивов: массива технических решений в виде И-ИЛИ-дерева; списка технических требований к техническому решению; модели оценки (матрицы соответствий) технических решений.

Алгоритм синтеза технических решений, реализованный на ЭВМ, позволяет разработчику выбирать их наилучшие варианты из огромного множества возможных, которое для объектов средней сложности может достигать до десятков миллионов.

И-ИЛИ-дерево технических решений

И-ИЛИ-дерево технических решений строится в следующем порядке:

- выделяется основная функция (ОФ) проектируемой системы;
- с помощью функционального анализа выявляются вспомогательные функции (ВФ), обеспечивающие выполнение основной;
- находятся функциональные элементы (ФЭ), способные обеспечить выполнение каждой из вспомогательных функций.

Для рассматриваемого случая структура И-ИЛИ-дерева ТР показана на рис. 4.2.

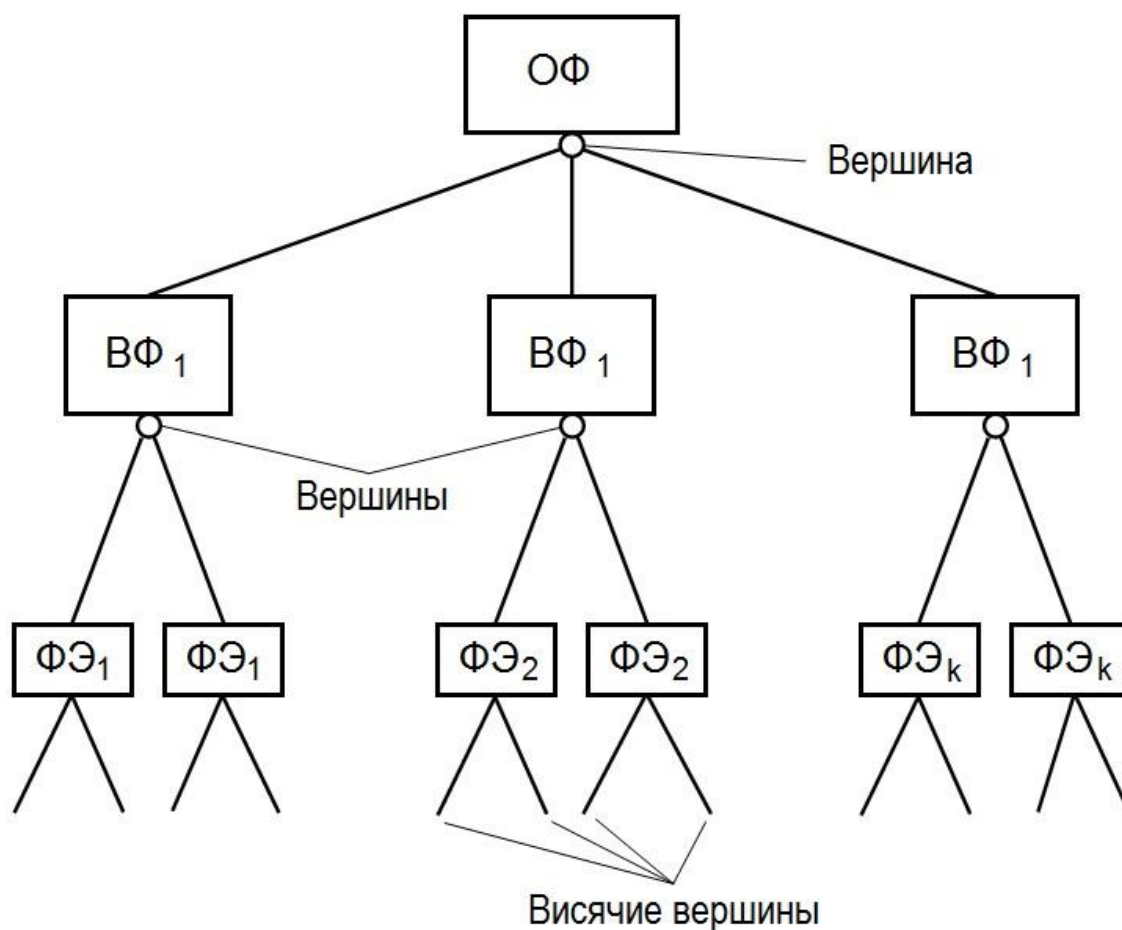


Рис. 4.2. Структура И-ИЛИ-дерева технических решений

Основная функция проектируемого изделия формальным образом описывает его назначение и, таким образом, представляет собой задачу синтеза нового технического решения. Формализованное описание основной функции проектируемого изделия можно представить в виде

$$ОФ = (Д, О, У),$$

где $Д$ – описание действия, предписываемого проектируемому изделию и приводящего к желаемому результату (очистка от нефтепродуктов); $О$ – описание объекта, на который направлено действие (береговые наносы); $У$ – описание условий и ограничений, при которых выполняется действие (работа в охраняемых зонах, различных климатических условиях, на песке и т.д.).

Степень сложности задачи поиска новых рациональных технических решений зависит от вида и количества ограничений, накладываемых при описании основной функции.

Наиболее простая (или «минимальная») задача получается введением предельных (т.е. наиболее жёстких) ограничений на изменения исходной

технической системы, которые в этом случае минимальны. Она формулируется приблизительно так – «существующая система минус недостаток (или плюс новое качество)». Наиболее сложная (или «максимальная») задача получается снятием ограничений на изменения или полную замену исходной технической системы. Степень абстрактности формулировки определяется важностью задачи, что позволяет избежать ошибок в ходе проектирования (таких, как, например, подмена задачи её решением, введение ложных ограничений и т.п.).

Затем основная функция разделяется на совокупность вспомогательных функций (ВФ). При этом важно, чтобы выбранные вспомогательные функции соответствовали следующим требованиям:

- существенность для любого технического решения задачи;
- независимость одной от другой;
- адекватность основным аспектам работы оборудования.

Функциональные элементы (ФЭ) в совокупности образуют техническую систему, а их номенклатура характеризует её структуру. Для их описания используются общеупотребительные, наиболее устоявшиеся названия агрегатов, совокупностей сборочных единиц, сборочных единиц и т.д. Названия функциональных элементов, способствующих реализации одной из вспомогательных функций, не связаны с названиями элементов, относящихся к другим функциям.

На этом этапе требуется найти как можно большее количество альтернативных функциональных элементов для каждой вспомогательной функции.

Дальнейшее расширение множества технических решений, содержащихся в И-ИЛИ-дереве, возможно за счет комбинации отдельных частичных решений между собой или с помощью эвристических приёмов, описанных в литературе по основам инженерного творчества. При этом следует иметь в виду, что по мере увеличения количества частичных решений, удовлетворяющих каждой вспомогательной функции, количество комбинаций очень быстро возрастает.

Общее И-ИЛИ-дерево технических решений является главной составной частью информационного обеспечения и базы данных информационно-поисковой системы. И-ИЛИ-дерево обладает замечательным свойством: в нем наряду с техническими решениями, заложенными при разработке, скрыто

большое количество новых решений, образующихся в результате комбинации его элементов.

Список дополнительных (ранговых) требований

Список дополнительных требований является частью информационной модели объекта проектирования и состоит из последовательности описаний отдельных требований, на основе которых формируется задание на поиск рациональных технических решений.

Структуру технического решения выбирают в ходе параллельного анализа множества вариантов, подвергаемых сравнительной оценке с помощью дополнительных технических требований, например, таких, как:

- ТТ1. Качество выполнения функции.
- ТТ2. Степень опасности для окружающей среды.
- ТТ3. Простота устройства.
- ТТ4. Габариты устройства.
- ТТ5. Масса устройства.
- ТТ6. Энергоёмкость процесса.
- ТТ7. Степень конструктивной унификации устройства.
- ТТ8. Соответствие правилам техники безопасности.
- ТТ9. Сложность изготовления устройства.
- ТТ10. Надёжность устройства в эксплуатации.
- ТТ11. Удобство обслуживания устройства.

Каждому дополнительному требованию в зависимости от его относительной важности в обеспечении заданной цели для группы технических решений необходимо присвоить соответствующий ранг.

Если требования хорошо известны, то можно сразу упорядочить дополнительные требования. В противном случае следует прибегать к специальным методам ранжирования (например, с помощью метода парных сравнений). Работа по ранжированию технических требований возлагается на одного или группу экспертов. Табл. 4.4 иллюстрирует результаты ранжирования технических требований группой экспертов с помощью метода парных сравнений. Если требование, содержащееся в строке, предпочтительнее требования, содержащегося в столбце, то на их пересечении в таблице проставляется 1, в противном случае – 0.

Таблица 4.4

Матрица парных сравнений дополнительных технических требований

	ТТ1	ТТ2	ТТ3	ТТ4	ТТ5	ТТ6	ТТ7	ТТ8	ТТ9	ТТ10	ТТ11	Сумма	Ранг
ТТ1		1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	7	III
ТТ2	0		1	1	1	1	1	0	1	1	1	8	II
ТТ3	1	0		0	0	0	1	0	0	0	0	2	IX
ТТ4	1	0	1		1	1	1	0	0	0	1	6	IV
ТТ5	1	0	1	0		1	1	0	0	0	0	4	VI
ТТ6	0	0	1	0	0		1	0	0	0	0	2	VIII
ТТ7	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	XI
ТТ8	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	10	I
ТТ9	0	0	1	1	1	1	1	0		0	0	5	V
ТТ10	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	1	X
ТТ11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1		3	VII

Затем баллы по каждой строке матрицы суммируются. Ранг (или важность) требования соответствует сумме баллов в его строке. Чем больше число, тем выше ранг требования.

Модель оценки технических решений

Процесс автоматизированного выбора рациональных технических решений предполагает наличие соответствия между дополнительными требованиями технического задания и висячими вершинами И-ИЛИ-дерева. Описание такой взаимосвязи называют моделью оценки технических решений.

Формой описания взаимосвязи между вершинами И-ИЛИ-дерева и дополнительными требованиями является матрица соответствий (табл. 4.5), в которой по горизонтали записывают названия элементов и их признаков, а по вертикали – номера упорядоченных технических требований. Каждая оценка степени соответствия вершины И-ИЛИ-дерева предъявляемым требованиям записывается в виде группы символов K_{ij} , где i – номер вершины (строки), а j – номер технического требования (столбца).

Таблица 4.5

Матрица соответствий

№ вершины И-ИЛИ-дерева	Наименование вершины	Технические требования
		01 02 03 04 М
5		K51 K52 K53 K54 K5м

6		K61 K62 K63 K64 K6м
N		KN1 KN2 KN3 KN4 KNM

Степень соответствия между вершинами И-ИЛИ-дерева технических решений и дополнительными требованиями определяют методом экспертных оценок. Система оценок может быть различной, однако, она должна обеспечить чёткое выражение качественных и количественных отличий между техническими решениями.

Для формирования модели оценки достаточно оценить элементы и их признаки, соответствующие только висячим вершинам И-ИЛИ-дерева технических решений. Если все висячие вершины оценены, то оценивать вышележащие вершины не следует.

Для системы, предложенной А.Н. Новиковым и Н.Н. Живейновым и реализующей описываемый алгоритм, разработана шкала балльных оценок, состоящая из нуля и целых чисел от 1 до 9. Здесь 0 – допуск частичного решения в общем без оценки, а 1 – запрет вершины. Остальные баллы оценивают соответствие висячих вершин дерева техническим требованиям: очень плохое – 2, плохое – 3; удовлетворительное – 4, весьма удовлетворительное – 5; хорошее – 6, очень хорошее – 7; отличное – 8, безукоризненное – 9.

Автоматизированный синтез рациональных технических решений

Процедура автоматизированного синтеза рациональных технических решений из элементов И-ИЛИ-дерева складывается из следующих операций:

- составление технического задания;
- ввод технического задания в систему с помощью шаблона;
- исключение из И-ИЛИ-дерева элементов, не отвечающих требованиям технического задания;
- оптимизация технического задания;
- синтез описаний допустимых технических решений из элементов описаний, находящихся в И-ИЛИ-дереве;
- документирование описаний найденных рациональных технических решений.

Под техническим заданием понимается совокупность уровней дополнительных требований, обуславливающих нужную степень выполнения функций объектом проектирования при заданных условиях. В техническом задании разработчик указывает требования, по которым производится поиск технических решений и уровень выполнения каждого из них. Исходное техническое задание загружают в память системы, и задают вид работы «поиск технического решения». По запросу системы вводят имя дерева и исходное техническое задание. Система проверяет все технические решения, содержащиеся в И-ИЛИ-дереве, и исключает те, которые не соответствуют техническому заданию. Вершины И-ИЛИ-деревя, не противоречащие техническому заданию – это, во-первых, не оценённые вершины и, во-вторых, те из оценённых вершин, оценки которых не хуже оценок, заданных в техническом задании.

Вершины, не удовлетворяющие этим условиям, исключаются.

После усечения И-ИЛИ-деревя в соответствии с техническим заданием в нем может не оказаться ни одного технического решения, либо их будет слишком много. В первом случае разработчику необходимо ослабить оценки некоторых дополнительных требований, а во втором – усилить. Указанные процедуры оптимизации технического задания следует применять до тех пор, пока количество отобранных технических решений не сократится до уровня, приемлемого для смыслового анализа.

5. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Конструкторское проектирование – это определение геометрических форм объекта проектирования и его элементов, а также их взаимного расположения в пространстве (рис. 5.1).

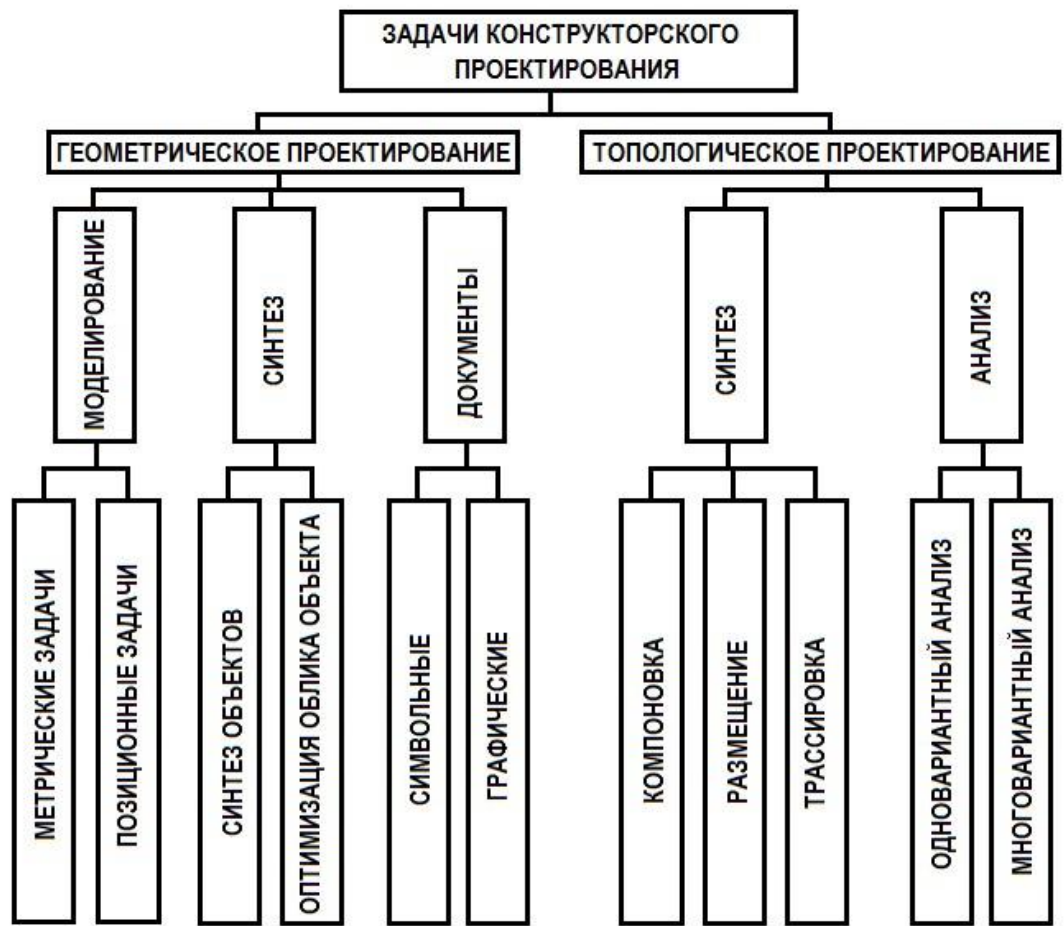


Рис. 5.1. Классификация задач конструкторского проектирования

5.1. Геометрическое проектирование

В число основных процедур геометрического проектирования включают моделирование и синтез, к которым иногда причисляют и документирование результатов проектирования.

Теоретическими основами геометрического моделирования являются аналитическая геометрия, теория множеств, теория графов и алгебра логики. Различают два метода геометрического моделирования:

Геометрическое моделирование и синтез форм деталей – совокупность операций и процедур, направленных на создание и/или изменение геометрической модели изделия, отражающей его геометрические свойства.

- геометрическое моделирование объектов твёрдого тела, при котором поверхность объекта образована поверхностями базовых объектов (примитивов);

- геометрическое моделирование скульптурных поверхностей сложной формы, в том числе динамических поверхностей, т.е. поверхностей, взаимодействующих с внешней средой (омываемые и трассирующие), и поверхностей, к которым предъявляются повышенные эстетические требования.

Геометрическая модель изделия (рис. 5.2) представляет собой совокупность сведений, однозначно определяющих форму, размеры и положение в пространстве изделия и составляющих его элементов. Геометрические модели различаются по назначению, способам их построения и наглядного представления.



Рис. 5.2. Геометрическая модель рукояти карьерного экскаватора

Геометрические модели используют в следующих целях:

- описание геометрических свойств объекта конструирования (форма, расположение в пространстве);
- решение геометрических задач (позиционных и метрических);
- преобразование формы и положения объектов;
- ввод графической информации.

В зависимости от назначения геометрической модели возможны различные способы её создания:

Аналитический способ создания геометрической модели – это система уравнений, описывающих контуры или поверхности объекта (например, уравнение кривой, уравнение поверхности). Например, такой моделью может быть одно из приведенных ниже уравнений второго порядка: на плоскости в прямоугольной системе координат

- в неявном виде

$$F(x, y) = ax^2 + 2bx + cy^2 + 2dx + 2ey + g = 0;$$

- в явном виде $y = F(x)$;
- в параметрической форме

$$x = x(t), y = y(t);$$

- в ортогональной трёхмерной системе координат

$$F(x, y, z) = a(x^2 + y^2) + bz^2 + 2cx + 2dy + 2ez + d = 0.$$

Аналитические модели служат для описания элементарных геометрических объектов (примитивов), с помощью которых составляются модели «твёрдого тела», наиболее часто употребляемые при конструировании сплошных деталей, получаемых штамповкой и резанием.

Алгебрологический способ создания геометрической модели – это совокупность уравнений ориентированных поверхностей, теоретико-множественной формулы и параметров системы координат изделия.

Такие модели служат для визуализации объекта в случаях, когда точность получения линий пересечения граней не играет большой роли, и их конкретные координаты на детали зависят от технологии обработки, которой она подвергается (например, от типа режущего инструмента). Эти модели также относятся к моделям «твёрдого тела».

Алгебрологические модели строят с использованием таких понятий теории множеств, как объединение, пересечение и разность.

Объединение множеств A и B – это множество элементов, принадлежащих любому из множеств A или B (рис. 5.3). Формальная запись этого события: $A \cup B$.

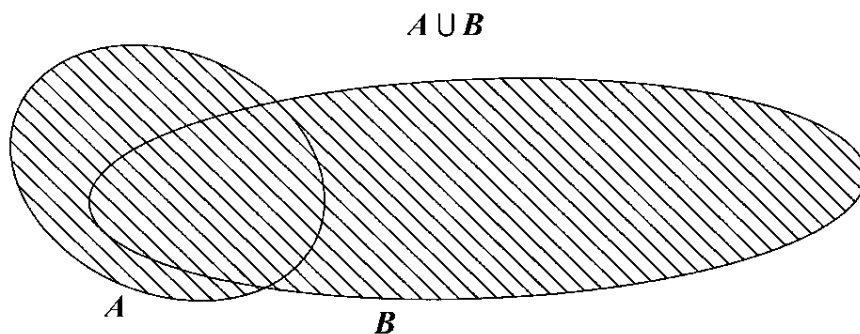


Рис. 5.3. Объединение множеств A и B

Пересечение множеств A и B – это множество элементов, принадлежащих одновременно и множеству A и множеству B (рис. 5.4).

Формальная запись этого события: $A \cap B$.

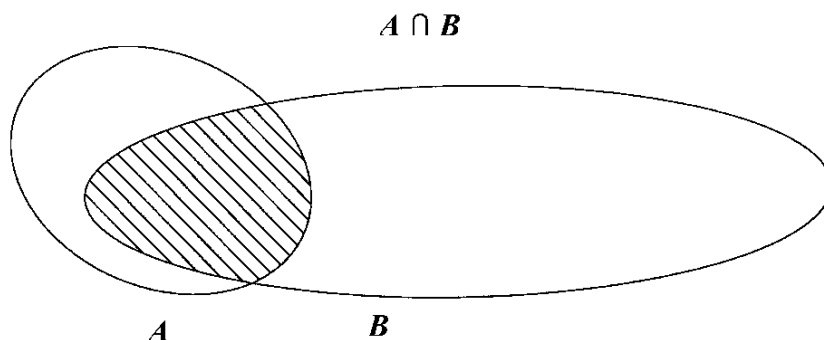


Рис. 5.4. Пересечение множеств A и B

Разность множеств A и B – это множество элементов, принадлежащих тому из множеств, из которого вычитается другое множество (рис. 5.5). Например, формальная запись события, при котором из множества A вычитается множество B , будет такова: $A \setminus B$.

В качестве примера рассмотрим формирование плоской фигуры (рис. 5.6) из примитивов $D1$ (квадрат), $D2$ (квадрат), $D3$ (круг) и $D4$ (левая верхняя полуплоскость), объединенных логическим выражением:

$((D1 \cup D2) \setminus D3) \cap D4$.

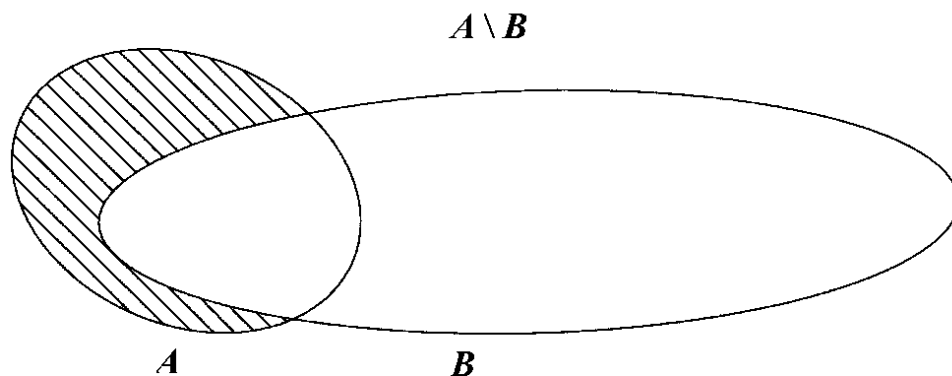


Рис. 5.5. Разность множеств A и B

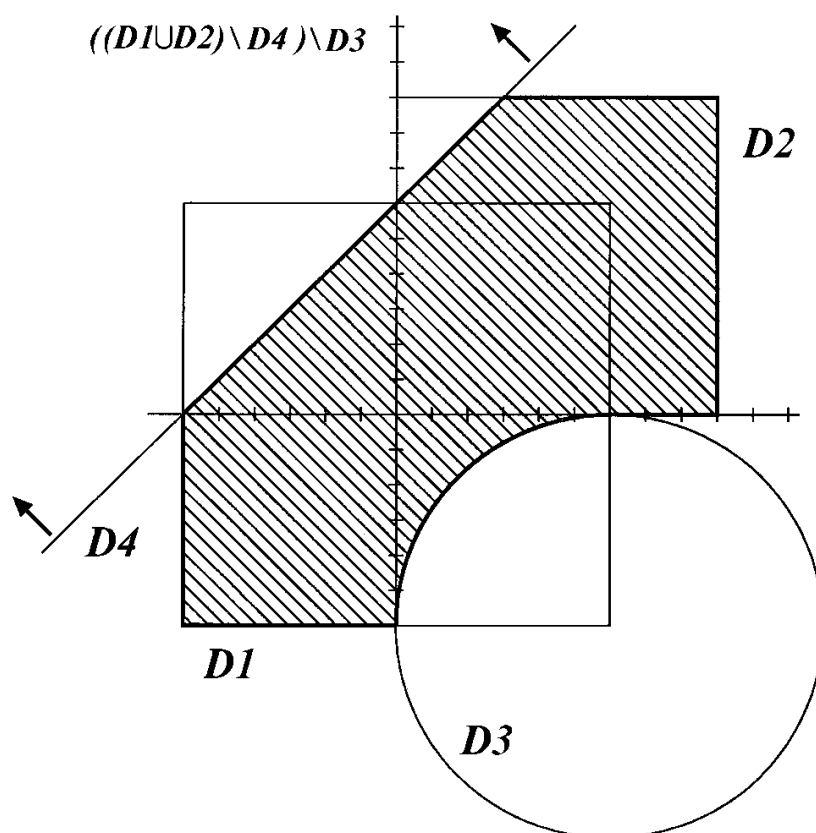


Рис. 5.6. Плоская фигура, составленная из примитивов, находящихся в следующих логических отношениях: $((D1 \cup D2) \setminus D4) \setminus D3$

Каждый из примитивов задан своими параметрами:

$$D1: -6 \leq x \leq 6; -6 \leq y \leq 6.$$

$$D2: 0 \leq x \leq 9; 0 \leq y \leq 9.$$

$$D3: (x - 6)^2 + (y + 6)^2 \geq 36.$$

$$D4: y \geq x - 6.$$

Канонический способ создания геометрической модели – это совокупность параметров, однозначно определяющих геометрическую форму

моделируемого объекта (например, для окружности – это координаты центра и длина радиуса или координаты трех точек, ей принадлежащих, для квадрата – это координаты концов диагонали или координаты трех вершин). Эти модели целесообразно использовать в случаях, когда в геометрических объектах удаётся выделить такие параметры.

Рецепторный способ создания геометрической модели – это совокупность достаточно маленьких ячеек (рецепторов) трёхмерного пространства или плоскости, которые могут находиться в двух состояниях: активированном – тогда эта ячейка пространства непрозрачна и видима, и нейтральном – тогда эта ячейка прозрачна и невидима. Контур изображения образуется возбуждёнными рецепторами. Рецепторные модели служат для моделирования внешнего облика изделий.

Каркасный способ создания геометрической модели – это совокупность поверхностей, каждая из которых определена своим дискретным каркасом.

Дискретный каркас поверхности – дискретное множество линий, заданных отдельными значениями параметров, определяющих положение линии в пространстве (например, координатами). Эти модели используются при воспроизведении объектов с помощью станков ЧПУ, 2-D и 3-D принтеров и т.п.

Кинематический способ создания геометрической модели – это совокупность поверхностей, каждая из которых определена непрерывным каркасом. Примерами простых поверхностей такого типа могут служить поверхности вращения и линейчатые поверхности, образуемые в результате изменения одного из параметров параметрической кривой, лежащей на поверхности. Поверхность вращения – результат вращения плоской кривой вокруг оси. Линейчатая поверхность порождается семейством прямых, образующихся при пошаговом изменении одного из параметров параметрической кривой. Непрерывный каркас поверхности может быть также получен при аппроксимации дискретного каркаса поверхностями третьего порядка (поверхности Безье) или сплайнами. Кинематические модели используются при проектировании скульптурных поверхностей (например, корпусных деталей, к поверхности которых предъявляются повышенные требования в части аэродинамики или дизайна).

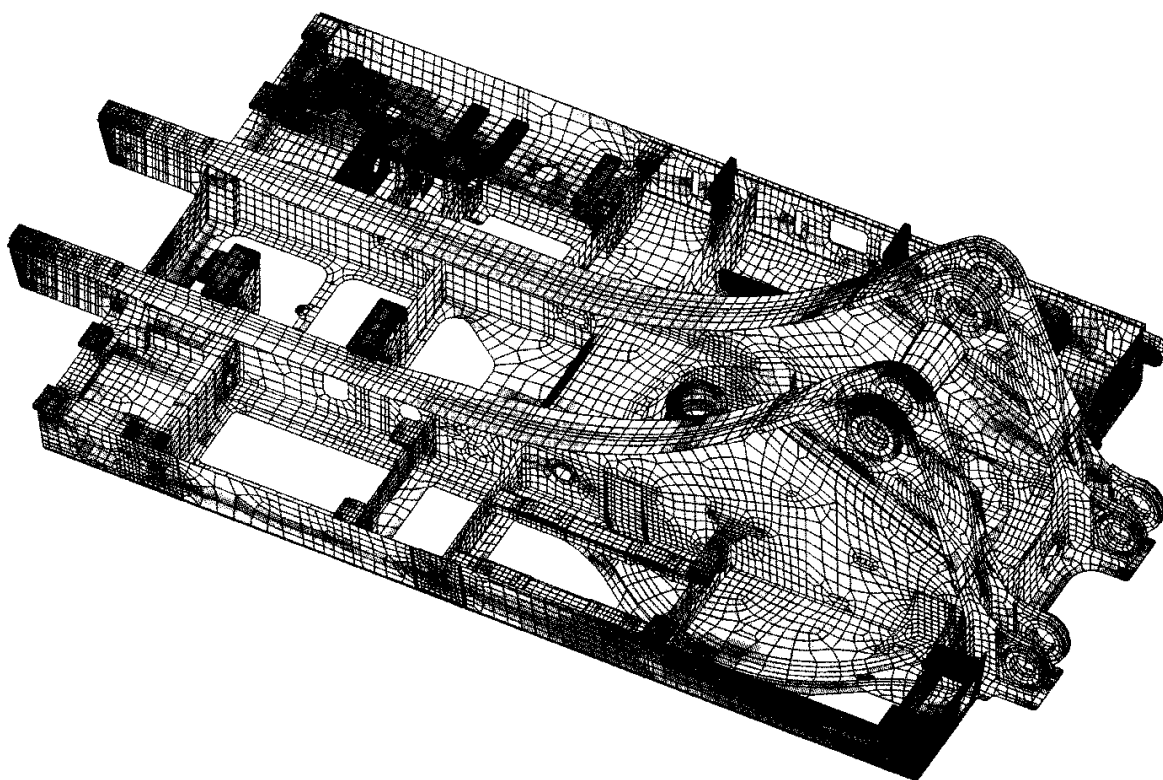


Рис. 5.7. Каркасная геометрическая модель поворотной платформы универсального экскаватора

В ходе геометрического моделирования решаются позиционные и метрические задачи. *К позиционным задачам* относятся: определение принадлежности точки замкнутой области, установление факта пересечения или касания плоских и объёмных тел в процессе их движения, оценка минимального и максимального расстояний. *К метрическим задачам* относится определение геометрических параметров изделия, таких, как площадь, масса, момент инерции, объём, координаты центра масс. Для этого анализируемый геометрический объект делится на составляющие его объекты элементарной формы (параллелепипеды, цилиндры) и геометрические параметры устанавливаются сначала для элементарных объектов, а затем для всего целого.

Например, общий вид машины на плоскости чертежа делится на детали, узлы, агрегаты, сборочные единицы, для каждого из которых определяется положение центра масс и её значение. Чем большая точность требуется, тем большее число элементарных объектов необходимо для аппроксимации облика машины.

В общем случае, для системы из n материальных точек координаты центра масс могут быть рассчитаны по формулам

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}; \quad z = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i};$$

где x, y, z – координаты центра масс системы; m_i – масса i -й точки системы; x_i, y_i, z_i – координаты центра масс i -й точки системы.

Геометрический синтез – совокупность проектных операций и процедур, имеющих целью конструирование поверхности проектируемого изделия.

Задачи формирования сложных геометрических объектов решаются компоновкой сложных поверхностей из поверхностей элементарных. В принципе поверхность любой сложности можно задать как единый геометрический объект, но в большинстве случаев удобнее представить такую поверхность состоящей из нескольких более простых. Например, лобовую поверхность сферического отвала бульдозера предпочитают представлять не как фрагмент тора, а как сложную поверхность, состоящую из цилиндрических и плоских поверхностей.

Задачи синтеза формы проектируемого изделия сводятся к конструированию формы, обеспечивающей изделию оптимальное функционирование. Критерии оптимальности зависят от его назначения: аэродинамическое сопротивление – для корпусов транспортных средств, теплоотдача – для агрегатов, нуждающихся в определённом температурном режиме, рабочие сопротивления – для землеройных органов.

Документирование – совокупность проектных операций и процедур, предназначенных для представления результатов проектирования в виде комплекта документации. К видам такой документации могут быть отнесены техническое задание, техническое предложение, технический или рабочий проекты, а также части любого из этих документов.

Задачи оформления текстовой и графической документации различаются типом технических и программных средств, привлекаемых для их решения (например, текстовые и графические редакторы, принтеры, плоттеры).

5.2. Топологическое проектирование

Топологическое проектирование – конструирование структуры проектируемого изделия с учётом его функциональных характеристик.

Топологический синтез – совокупность проектных операций и процедур, имеющих целью создание структуры проектируемого изделия.

Задачи компоновки решаются в ходе преобразования функциональной схемы соединения логических элементов проектируемого объекта в схему соединения типовых конструктивных элементов. Например, задача компоновки механизма решается в ходе превращения его кинематической схемы в сборочный чертёж, определяющий номенклатуру, типы и типоразмеры узлов и крепёжных деталей, составляющих механизм, их взаимное расположение, способы соединения и функционирования.

Основными для компоновки критериями могут быть: минимум типов конструктивно законченных частей, плотность компоновки, минимум соединений между устройствами и др. Внешние соединения между частями схем являются одним из факторов, определяющих надёжность устройства в целом. Поэтому наиболее распространённый критерий в задачах компоновки – минимум числа внешних связей.

По учёту различных групп требований в процессе компоновки задачи конструирования можно разбить на два класса.

Первый класс задач – разбиение схем на модули с учётом таких ограничений, как количество элементов в модулях, число внешних выводов модулей, суммарная площадь, занимаемая элементами и соединениями в модулях и т.п. Главные критерии – минимум числа образуемых связей, минимум числа внешних выводов.

Второй класс задач – компоновка модулей с учётом как конструктивных, так и функциональных характеристик. Такие задачи возникают при переходе от логических схем к принципиальным и сводятся к назначению элементов логической схемы в типовые модули из заданного набора. Набор типовых модулей должен обеспечивать реализацию логической схемы, т.е., содержать все её логические элементы. Основные критерии – минимум числа и типов модулей в компоновке, минимум числа межмодульных соединений и др.

Оптимизационные алгоритмы компоновки можно разделить на две группы: приближённые и точные. Приближённые методы не гарантируют нахождение глобального экстремума, но позволяют получить удовлетворительный результат за относительно небольшое время. Точные методы дают наилучшее значение критерия, но требуют значительных затрат

времени, быстро возрастающих с увеличением количества критериев оптимизации.

Задачи размещения сводятся к оптимизации пространственного расположения конструктивных модулей в объёме проектируемого изделия. В качестве критериев оптимизации могут выступать такие характеристики, как свобода доступа к каждому из агрегатов, вероятность воздействия одного агрегата на другой (теплового, электромагнитного и т.п.), возможность совместной работы агрегатов (например, передачи крутящего момента).

Задачи трассировки сводятся к определению геометрии соединений (трасс соединений) элементов при условии обеспечения какого-либо требования (например, минимальной длины соединений). Необходимость решения задач трассировки возникает, как правило, при проектировании электрических, пневматических, гидравлических или аналогичных систем. В ряде случаев трассировка однозначно задаётся в ходе решения задачи размещения (например, при соединении двигателя с коробкой передач) или в ходе функционального проектирования (например, при разработке кинематической схемы машины).

Топологический анализ – совокупность проектных операций и процедур, имеющих целью оценку результатов конструкторского проектирования на основе функциональных моделей.

Задачи одновариантного анализа сводятся к расчёту значений выходных параметров проектируемого изделия (например, массы, габаритов, стоимости машины). Такие расчёты на этапе проектирования могут быть выполнены только с помощью математических моделей, описывающих функционирование изделия.

Задачи многовариантного анализа сводятся к расчёту показателей, как правило, вероятностной природы, таких, как надёжность, наработка на отказ, эксплуатационная производительность машин и комплектов машин, график поставки запчастей и т.п. Эти расчёты выполняются по статистическим и имитационным моделям.

6. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Технологическое проектирование – это проектирование технологических процессов изготовления деталей, сборки узлов, агрегатов и машин в целом. Технологическое проектирование в машиностроении базируется на двух подходах – техническом и экономическом.

Технический подход предусматривает полное обеспечение технологическим процессом всех требований рабочего чертежа и технических условий на изготовление заданного изделия.

Экономический подход диктует необходимость минимизации трудоёмкости и издержек производства на изготовление деталей, сборку узлов, агрегатов и машин в целом. Из имеющихся вариантов технологического процесса изготовления одного и того же изделия, одинаковых с позиции технического подхода, выбирают вариант, наиболее эффективный в экономическом отношении. Эффективность технологического процесса выявляют либо по каждому из его элементов, либо рассчитывают по укрупнённым показателям.

Технологическое проектирование ведётся последовательно в несколько этапов.

1. Разработка предварительного проекта технологического процесса.
2. Детальные технологические расчёты, уточняющие и конкретизирующие предварительный проект.

Объектом автоматизации при технологическом проектировании являются следующие процедуры:

- выбор способа получения заготовок деталей;
- составление маршрутов обработки деталей;
- подбор инструмента, оснастки, оборудования и режимов обработки;
- выбор методов и приёмов сборки узлов, агрегатов и машин;
- выбор методов и средств технического контроля качества изделий

на каждом из этапов технологического процесса.

Окончательный вариант технологического процесса (или набора процессов) – итог уточнения предварительного проекта в результате итерационного повторения детальных технологических расчётов.

Наиболее рациональные решения выбираются из числа нескольких вариантов технологических маршрутов после их разработки и сравнения по установленным критериям.

При массовом производстве технологические процессы разрабатываются подробно для всех деталей изделия. Такие процессы называют операционными. Технологическая документация на них содержит подробную информацию об операциях и переходах, режимах обработки и межоперационных размерах деталей, инструменте, оснастке и т.д.

В единичном производстве (например, при изготовлении опытных образцов или опытной партии изделий) ограничиваются разработкой упрощённых технологических процессов, так как их подробная разработка, как правило, экономически нецелесообразна. Такие технологические процессы относят к маршрутным.

Этапы технологического проектирования взаимосвязаны и выполняются в определённой последовательности. Так, при изготовлении деталей методами механической обработки принята следующая последовательность проектных операций:

- определение типа производства и методов работы;
- выбор способа изготовления заготовки и формулировка требований к ней;
- выбор и обоснование технологических баз (*т.е., поверхностей, их сочетаний или осей, используемых для определения положения заготовки в процессе изготовления*);
- назначение маршрута обработки отдельных поверхностей и составление маршрута обработки детали в целом;
- расчёт припусков, установление технологических допусков и предельных размеров заготовки на отдельных стадиях обработки;
- уточнение степени концентрации операций технологических переходов (*технологический переход – законченная часть обработки, выполненная одними и теми же инструментами при неизменных технологических режимах; различают простые переходы – величина припуска снимается одним и тем же инструментом за несколько рабочих ходов, и сложные – величина припуска снимается одновременно несколькими инструментами*);

- выбор обрабатывающего оборудования, технологической оснастки и инструментов;
- расчёт режимов резания;
- определение настроечных размеров;
- установление норм времени и квалификации рабочих на операциях;
- оформление технологической документации.

Например, исходными данными для проектирования технологических процессов механической обработки являются:

- рабочий чертёж обрабатываемой детали с указанием её материала, конструктивных особенностей и размеров;
- технические условия на изготовление детали, характеризующие точность и качество обрабатываемых поверхностей, а также особые требования к твёрдости и структуре материала, термической обработке, балансировке и т.п.;
- объем выпуска изделий, в состав которых входит изготавливаемая деталь, с учётом выпуска запасных частей;
- планируемый интервал времени (обычно в годах) выпуска изделий.

Проектированию технологического процесса предшествует подробное изучение рабочего чертежа детали, технических условий на её изготовление и условий её работы в изделии. Особое внимание уделяют улучшению технологичности конструкции детали, что может дать значительный эффект от снижения трудоёмкости и себестоимости обработки.

Заключительным этапом технологического проектирования является разработка технологической документации. Стандартами ЕСКД предусмотрены: маршрутная карта, операционная карта, карта эскизов, документы технического контроля.

Автоматизация технологического проектирования обеспечивает снижение его трудоёмкости в 10...15 раз, а себестоимости в 2...4 раза.

Себестоимость самого изделия при этом может снижаться на 50...70%.

7. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Основные идеи и принципы проектирования сложных систем выражены в системном подходе. Как правило, разработчики технических систем

используют системный подход интуитивно, но опыт проектирования показывает, что без применения правил системного анализа этого, как правило, недостаточно для решения подавляющего большинства стоящих перед ними задач.

Основной принцип системного подхода – рассмотрение частей явления или сложного объекта с учётом их взаимодействия. Это позволяет выявить структуру объекта, а также внутренние и внешние связи, определяющие его облик и принципы работы.

Системы автоматизированного проектирования и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем, поэтому их разработка и сопровождение невозможны вне методологии системного подхода.

Системный подход – совокупность методологических принципов, позволяющих рассматривать любой объект как систему.

Принципы системного подхода:

1. При описании объекта как системы каждый её элемент описывается с учётом его значения для работы системы в целом.
2. Исследование системы неотделимо от исследования свойств среды, с которой она взаимодействует.
3. Исследование процессов возникновения свойств целого из свойств составляющих его элементов и влияния свойств целого на формирование свойств отдельных элементов обуславливает развитие последних.
4. При системном подходе исследования причин функционирования и развития объекта, должны дополняться исследованиями их целесообразности.
5. Источник преобразований системы лежит обычно в ней самой, так как сложные системы характеризуются самоорганизацией и самонастройкой.

Системный анализ

Системный анализ – совокупность методов, позволяющих реализовать принципы системного подхода путём фрагментации системы на элементы, её составляющие.

Не всегда для определения системы нужен системный анализ, поэтому методы системного анализа имеют границы.

Выделяют 4 класса проблем по степени детерминированности связей между явлениями и процессами (иначе, по характеру их структурности):

1. Стандартные (хорошо структурированные) проблемы. Связи здесь строго детерминированы, т.е. изменение фактора – причины ведёт к однозначному изменению результативного признака (примеры такой проблемы: определение потребностей в условном топливе для выработки необходимого количества электроэнергии на тепловых станциях, определение количества персонала для выполнения функций при заданной трудоёмкости и т.п.).

2. Для решения таких проблем используются формализованные методы, в частности, методы исследования операций (линейного, нелинейного, динамического программирования, теории массового обслуживания, теории игр и т.д.).

3. Структурированные проблемы. В таких проблемах связи носят корреляционный характер высокой степени тесноты. Изменения факторных признаков отражаются в результативном признаке, как правило, с некоторым интервалом «от» и «до», но нередко однозначно (например, определение темпов роста производительности труда в зависимости от динамики его фондовооруженности и энерговооружённости; формирование цен на основе факторов затрат, спроса и цен конкурентов). В основе исследования подобных проблем также лежит применение формальных методов, прежде всего, стохастических.

4. Слабо структурированные проблемы. Их характерной чертой является невысокий уровень тесноты связей. На результативный признак воздействуют многие факторные признаки – причины. Их воздействие отражается в изменениях результативного признака в очень большом интервале значений (пример – определение состава и структуры населения в планируемом периоде). Они и являются основным предметом системного анализа.

5. Неструктурированные проблемы. Связи в такого типа проблемах могут быть установлены только (или почти только) на основе логического анализа. Изменение результативного признака трудно предсказуемо (пример подобной проблемы – развитие науки и техники в долгосрочной перспективе). В неструктурированных проблемах традиционными являются экспертные и эвристические методы исследования. Их особенность состоит в том, что эксперт собирает максимум информации о решаемой проблеме и на основе интуиции выносит заключения и рекомендации.

Системный анализ предназначен для исследования в первую очередь слабоструктурированных проблем, т.е. проблем, состав элементов и взаимосвязей которых установлен лишь частично. **Особенностями типичных проблем такого рода являются:**

- а) стратегический и долгосрочный характер;
- б) наличие широкого набора альтернатив;
- в) неопределённость внешней и внутренней среды системы.

Области приложения системного анализа – это задачи, связанные с целеобразованием, анализом целей и функций; задачи определения основных направлений и стратегии развития регионов, отраслей, предприятий и организаций; формирования прогнозов и перспективных планов, целевых комплексных программ; задачи разработки или совершенствования структур; исследование специфических особенностей управления и механизмов обратных связей; определение характера и степени влияния на организацию условий её функционирования (внешней среды); исследования процессов принятия управленческих решений во всех блоках и элементах системы; исследования эмерджентных свойств и их влияния на функционирование системы и другие сложные задачи.

8. РАЗНОВИДНОСТИ САПР

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например, по приложению, целевому назначению, уровню сложности решаемых задач, характеру базовой подсистемы – ядра САПР.

По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются:

- САПР для применения в отраслях общего машиностроения или машиностроительные САПР;
- САПР в области радиоэлектроники;
- САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь классификации. Примерами таких систем являются САПР больших интегральных схем (БИС); САПР летательных аппаратов; САПР электрических машин и т.п.

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты проектирования.

По масштабам различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например, комплекс анализа прочности механических изделий методом конечных элементов (МКЭ), комплекс анализа электронных схем; системы с уникальной архитектурой как программного, так и технического обеспечения.

По характеру базовой подсистемы различают:

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер.

В настоящее время широко используют унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра Parasolid фирмы EDS Urographics и ACIS фирмы Intergraph).

2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например при проектировании бизнес-планов, но они имеются также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики.

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые ПМК, например, имитационного моделирования производственных процессов, расчёта прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п. Часто такие САПР относятся к системам САЕ. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются САЕ/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так, САПР БИС включает в себя СУБД и подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных

схем, топологии кристаллов, тестов для проверки годности изделий. Для управления такими сложными системами применяют специализированные системные среды.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие стадии жизненного цикла связаны с проектированием?
2. На какой стадии жизненного цикла разрабатывают техническое задание на проектирование, а на какой – рабочий проект изделия?
3. В чём преимущества автоматизированного проектирования: в сокращении продолжительности проектирования или в выборе лучшего проектного решения?
4. Какие автоматизированные комплексы позволяют сократить продолжительность проектирования?
5. Что такое аспект описания?
6. Какие аспекты обязательны для технического задания на проектирование, а какие – для рабочего проекта изделия?
7. Какие документы должны разрабатываться в ходе функционального, конструкторского и технологического видов проектирования?
8. Почему проект сложного технического изделия имеет много аспектов?
9. Что такое итерация и почему процесс проектирования сложного технического изделия носит итерационный характер?
10. Что такое иерархия и декомпозиция и почему при проектировании сложного изделия используют блочно-иерархический подход?
11. Какие проектные процедуры называют типовыми и в каком порядке к ним прибегают при проектировании?
12. Какой вариант действий (в рамках типичной последовательности проектных процедур) следует выбрать, если результаты проектирования не соответствуют техническому заданию?
13. Что такое техническое обеспечение автоматизированного проектирования?
14. В какие группы входят требования, предъявляемые к техническому обеспечению?

15. Какие технические средства включают в минимальную и в расширенную конфигурацию АРМ?

16. В какие виды сетей объединяют современные САПР и чем двухуровневые сети отличаются от одноуровневых?

17. Из каких компонент состоит математическое обеспечение автоматизированного проектирования?

18. Что такое математическая модель проектируемого объекта?

19. Что такое избыточная подробность математической модели?

20. Что такое алгоритм?

21. Что такое критерий оптимальности и целевая функция?

22. Чем различаются цифровой и аналоговый методы моделирования?

23. Что такое программное обеспечение автоматизированного проектирования?

24. Какие компоненты входят в базовое программное обеспечение САПР?

25. Какие компоненты относятся к обслуживающим подсистемам САПР?

26. Из каких компонент состоит пакет прикладных программ сложной структуры?

27. Что такое информационное обеспечение автоматизированного проектирования?

28. Перечислите известные Вам процедуры информационного обеспечения.

29. Что такое маршрут проектирования и программный модуль?

30. Чем отличаются связи по управлению от связей по информации?

31. Какие виды связей по информации Вам известны?

32. Что такое лингвистическое обеспечение автоматизированного проектирования?

33. Из каких групп языков складывается лингвистическое обеспечение САПР?

34. Какими критериями оцениваются универсальность, эффективность и удобство языка программирования?

35. Какому требованию должны отвечать языки программирования высокого уровня?

36. Какому требованию должны отвечать машинно-ориентированные языки программирования?

37. В какую группу языков входят подгруппы входных, выходных и внутренних языков?

38. В какую подгруппу языков входят языки описания объектов и языки описания заданий?

39. К каким языкам относятся языки схемные, графические и моделирования?

40. Какие формы меню используют в современных программах автоматизированного проектирования для организации диалога с пользователем?

41. Что такое конструкторское проектирование и какова его цель?

42. Какие задачи решаются в ходе конструкторского проектирования?

43. Какие задачи решаются в ходе геометрического проектирования?

44. Какие задачи решаются в ходе геометрического моделирования?

45. Что такое геометрическая модель объекта?

46. В каких целях используют геометрические модели объектов при их проектировании?

47. Какие способы построения геометрических моделей Вам известны?

48. Чем отличаются друг от друга каркасные и кинематические геометрические модели?

49. Перечислите известные Вам способы построения геометрических моделей.

50. Какие операции алгебры логики используют при создании алгебрологических моделей?

51. К чему сводится решение метрических задач?

52. К чему сводится решение позиционных задач?

53. К чему сводится решение задач геометрического синтеза?

54. Что такое топологическое проектирование и какие задачи относятся к задачам топологического проектирования?

55. Что такое топологический синтез и какие задачи относятся к задачам топологического синтеза?

56. В чём смысл решения задач компоновки и по каким критериям можно оценивать качество их решения?

57. В чём смысл решения задач размещения и по каким критериям можно оценивать качество их решения?

58. В чём смысл решения задач трассировки и по каким критериям можно оценивать качество их решения?

59. Что такое топологический анализ и какие задачи входят в группу задач топологического анализа?

60. К чему сводится решение задач одновариантного топологического анализа?

61. К чему сводится решение задач многовариантного топологического анализа?
62. Что такое технологическое проектирование и на каких подходах оно базируется?
63. Соблюдение каких требований предусматривает реализация технического и экономического подходов к технологическому проектированию?
64. Из каких этапов, как правило, складывается процедура технологического проектирования?
65. Сформулируйте понятие системного подхода и изложите его принципы.
66. Чем определяются границы применимости методов системного подхода?
67. Чем определяются области приложения системного анализа?
68. По каким признакам можно классифицировать САПР?
69. Какого типа САПР объединяют по приложению?
70. Какого типа САПР объединяют по целевому назначению?
71. Какого типа САПР объединяют по уровню сложности решаемых задач?
72. Какого типа САПР объединяют по характеру базовой подсистемы?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Кудрявцев, Е.М. Основы автоматизированного проектирования: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е.М. Кудрявцев. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 304 с.
2. Дьячков, Ю.А. САПР в автомобиле- и тракторостроении. Лабораторный практикум / Ю.А. Дьячков. – Пенза: ПГУ, 2012. – 164 с.

Дополнительная

3. Проектирование дорожно-строительных машин с использованием САПР: учебное пособие / В.И. Баловнев, Н.Н. Живейнов, Г.В. Кустарев, А.Н. Новиков, К.К. Шестопалов. – М.: МАДИ, 1988. – 83 с.
4. Живейнов, Н.Н. Синтез рациональных технических решений дорожно-строительных машин на ранних стадиях проектирования с использованием САПР: методические указания / Н.Н. Живейнов, А.Н. Новиков. – М.: МАДИ, 1986. – 56 с.
5. Системы автоматизированного проектирования: учебное пособие для втузов. Принципы построения и структура. В 9 кн. / под ред. И.П. Норенкова. – М.: Высш. шк., 1986. – 127 с.
6. Энкарначо, Ж. Автоматизированное проектирование. Основные понятия и архитектура систем: пер. с англ. / Ж. Энкарначо, Э.Шлехтендаль. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
КАК СРЕДСТВО СОКРАЩЕНИЯ ЕГО ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ.	4
Основные понятия	4
1.1. Стадии и этапы проектирования.....	5
1.2. Сокращение продолжительности проектирования.....	7
1.3. Задачи автоматизированного проектирования.....	9
2. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ	9
КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	9
2.1. Особенности проектирования сложных объектов	10
2.2. Аспекты описания и итерационность проектирования.....	13
2.3. Классификация проектных процедур.....	15
2.4. Типичная последовательность проектных процедур	17
3. КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	20
3.1. Техническое обеспечение	20
3.2. Математическое обеспечение	26
3.3. Программное обеспечение	30
3.4. Информационное обеспечение	35
3.5. Лингвистическое обеспечение	38
4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	41
4.1. Алгоритм синтеза новых технических решений.....	42
4.1.1. Принцип избыточности числа ТР	42
4.1.2. Принцип соответствия функций и ТР	42
4.1.3. Принцип относительного существования функций и ТР.....	42
4.1.4. Принцип перехода через предел	42
4.1.5. Принцип конструктивной эволюции	43
4.1.6. Принцип предпочтения	43
4.1.7. Принцип переноса решений	43
4.1.8. Принцип механизации и автоматизации	43
4.2. Выделение проблемной ситуации Э1.....	45
4.3. Формулирование задачи синтеза нового технического решения Э2..	47
4.4. Анализ задачи Э3.....	49
4.5. Поиск технических решений Э4	52
4.6. Анализ технических решений Э6	57
4.7. Выбор технического решения Э6	61
4.8. Автоматизированный синтез технических решений.....	65
5. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	72
5.1. Геометрическое проектирование	73
5.2. Топологическое проектирование	80

6. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	83
7. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ.....	85
8. РАЗНОВИДНОСТИ САПР	88
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ.....	90
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94